Die Naturkräfte.

Eine

naturwissenschaftliche Volksbibliothek.

Jeder Band kostet broschirt 3 Mark.
" " " gebund. 4 Mark.
" " wird einzeln verkauft.

Verzeichniß der bisher erschienenen Bände.

I. Band. **Die Lehre vom Schall.** Gemeinfaßliche Darstellung der Akustik von **R. Radau**. 20 Bogen Text und 108 Holzschnitten. Zweite Auflage.

II. Band. **Licht und Farbe.** Eine gemeinfaßliche Darstellung der Optik. Von Prof. **Dr. Fr. Jos. Pisko** in Wien. (Doppelband.) 37 Bogen Text mit 148 Holzschn. Zweite Auflage.

III. Band. **Die Wärme.** Nach dem Französischen des Prof. **Cazin** in Paris deutsch bearbeitet. Herausgegeben durch Prof. **Dr. Phil. Carl** in München. 19 Bogen Text mit 92 Holzschnitten und einer Farbendrucktafel. Zweite Auflage.

IV. Band. **Das Wasser.** Von Prof. **Dr. Pfaff** in Erlangen, mit 21 Bogen Text und 57 meist größeren Holzschnitten.

V. Band. **Himmel und Erde.** Eine gemeinfaßliche Beschreibung des Weltalls von Prof. **Dr. Zech** in Stuttgart. 19 Bogen Text mit 45 Holzschnitten und 5 Tafeln.

VI. Band. **Die electrischen Naturkräfte.** Der Magnetismus, die Electricität, der galvanische Strom. Mit ihren hauptsächlichsten Anwendungen gemeinfaßlich dargestellt von Prof. **Dr. Ph. Carl** in München. 20 Bg. Text mit 114 Holzschn.

VII. Band. **Die vulkanischen Erscheinungen.** Von Prof. **Dr. Friedr. Pfaff** in Erlangen. 21 Bogen Text mit 37 Holzschn.

VIII. und IX. Band. **Aus der Urzeit.** Bilder aus der Schöpfungsgeschichte von Prof. **Dr. Zittel** in München. 2 Theile. 39 Bogen Text mit 183 Holzschn. Zweite vermehrte u. verb. Auflage.

X. Band. **Wind und Wetter.** Eine gemeinfaßliche Darstellung der Meteorologie von Prof. **Dr. Lommel** in Erlangen. 25 Bogen Text mit 66 Holzschnitten.

XI. Band. **Die Vorgeschichte des europäischen Menschen.** Von **Dr. Fr. Ratzel.** 19 Bogen Text mit 92 Holzschnitten.

XII. Band. **Bau und Leben der Pflanzen.** Von Dr. **O. W. Thomé** in Cöln. 21 Bogen Text mit 70 Holzschnitten.

XIII. Band. **Die Mechanik des menschlichen Körpers.** Von Prof. Dr. **Kollmann** in München. 20 Bgn. Text mit 60 Holzschn.

XIV. Band. **Das Mikroskop und seine Anwendung.** Von Prof. Dr. **Fr. Merkel** in Rostock 20 Bogen Text mit 132 Holzschn.

XV. Band. **Das Spektrum und die Spektralanalyse.** Von Dr. **P. Zech,** Prof. der Physik am Polytechnikum in Stuttgart. 15 Bogen Text mit 33 Holzschnitten und einer Tafel.

XVI. Band. **Darwinismus und Thierproduktion.** Von Prof. Dr. **C. E. R. Hartmann.** 19 Bgn. Text mit 46 Holzschnitten.

XVII. Band. **Fels und Erdboden.** Von Hofrath, Prof Dr. **Ferdinand Senft.** 26 Bogen. Text mit 17 Holzschnitten.

XVIII. Band. **Gesundheitslehre des menschlichen Körpers.** Von Dr. **P. Niemeyer** in Leipzig. 19 Bogen Text mit 31 Holzschn.

XIX. Band. **Die Ernährung des Menschen.** Von Dr. **Johannes Ranke** in München. 26 Bogen Text und eine Photographie von J. v. Liebig.

XX. Band. **Die Naturkräfte in ihrer Anwendung auf die Landwirthschaft.** Von Dr. **v. Hamm,** Ministerialrath in Wien. 22 Bogen Text mit 64 Holzschnitten.

XXI. Band. **Organismus der Insekten.** Von Professor Dr. **V. Graber** in Czernowitz. 26 Bogen Text mit 200 Holzschn.

XXIII. Band. **Gesetzmäßigkeit im Gesellschaftsleben.** Von Ministerialrath, Prof. Dr. **G. Mayr** in München.

XXIV. Band. **Die Naturkräfte in den Alpen.** Von Prof. Dr. **Fr. Pfaff** in Erlangen.

Unter der Presse befindet sich und wird demnächst erscheinen:

XXII. Band. **Leben der Insekten.** Prof. Dr. **V. Graber** in Czernowitz.

In Vorbereitung befinden sich folgende Bände:

Bollinger, Prof. Dr. in München. **Die Ursachen der Epidemien.**

Brefeld, Privatdocent Dr. in Berlin. **Bacterien und Pilze.**

Gudden, Prof. Dr. in München. **Physiologie des Gehirns und der Nerven.**

Heller, Prof. Dr. in Kiel. **Die Parasiten.**

Jäger, Prof. Dr. Gust. in Stuttgart. **Die menschliche Arbeitskraft.**

Immermann, Prof. Dr. in Basel. **Gesundheit und Krankheit.**

Krebs, Dr. in Frankfurt. **Die Wechselwirkung der Naturkräfte.**

Lorenz, Dr., Ministerialrath in Wien. **Der Wald, der Boden und das Klima.**

Naturkräfte.

Vierundzwanzigster Band.

Die

Naturkräfte in den Alpen

oder

Physikalische Geographie

des

Alpengebirges.

Von

Dr. Friedrich Pfaff,
o. Professor an der Universität Erlangen.

Mit 68 Holzschnitten.

München.
Druck und Verlag von R. Oldenbourg.
1877.

Vorwort.

Es dürfte kaum eine Gegend der Erde geben, sicherlich kein Gebirge, über welches mehr geschrieben worden wäre und noch geschrieben wird, als über die Alpen. Auch an wissenschaftlichen Arbeiten über dasselbe fehlt es nicht, wohl aber an einer Zusammenstellung alles dessen, was man gewöhnlich unter dem Namen physische Geographie im weitesten Sinne zusammenfaßt. Wir könnten den Inhalt derselben kurz als eine Darstellung der Erscheinungsformen und der Bewegungserscheinungen in der anorganischen Natur bezeichnen, unter welche letztere dann auch die Vorgänge in der Atmosphäre, die Meteorologie zu rechnen sind.

Die rege Theilnahme, welche die Vorlesungen des Verf. über die physische Geographie der Alpen stets gefunden, sowie die öfter an ihn gerichteten Fragen nach einem Buche, das in allgemein verständlicher Form eine solche darböte, legten ihm die Vermuthung nahe, daß mit der Abfassung eines solchen Büchleins Manchem ein Dienst erwiesen sein dürfte, und zwar nicht nur unter denen, welche die Alpen besuchen, sondern auch unter denen, welche sich in ihrem Lehrberufe mit diesem Gebirge beschäftigen müssen und wie der Verf. dabei wohl oft bemerkt haben werden, wie außerordentlich reich, aber auch zerstreut das Material ist, das

über die Alpen in den verschiedensten Zeit- und anderen Schriften aller die Alpen umwohnenden Völker niedergelegt ist, und wie schwierig es oft ist, sich dasselbe zu verschaffen.

Gerade in den Alpen treten die Erscheinungen der anorganischen Natur so gewaltig an Jeden heran, der sie auch nur kurze Zeit zu beobachten Gelegenheit hat, zum Theil so fremd und eigenartig, daß wohl Jeder das Bedürfniß fühlen wird, sich über dieselben Belehrung zu verschaffen. Möchte das Büchlein diesen verschiedenen Zwecken entsprechen und in wie außerhalb des Gebirges sich als ein nicht unerwünschter Begleiter erweisen.

Der Verfasser.

Inhalt.

Einleitung.

Wirft man auch nur einen flüchtigen Blick auf eine, alle Erdtheile umfassende Wandkarte, so springt uns sofort der merkwürdige Unterschied in der Gestaltung der Kontinente entgegen, wenn wir die Umrisse derselben ins Auge fassen. Zunächst bemerken wir die auffallende Verschiedenheit, welche in dieser Beziehung die nördliche und südliche Halbkugel bei Betrachtung der Gestalt ihrer Ländermassen darbietet. Neuholland, Afrika, Südamerika zeigen so einfache Umrisse, daß sie nach kurzer Betrachtung ein Knabe aus dem Gedächtnisse nachzeichnen kann, Asien, Nordamerika und Europa dagegen so unregelmäßige Formen, so mancherlei Einbiegungen des Meeres gegen das Innere des Landes, so vielfache Vorsprünge des Landes in das Meer, daß es selbst Geographen von Fach und geübten Zeichnern nicht immer gelingen möchte, diese Kontinente richtig aus dem Gedächtnisse darzustellen. Weil diese Vorsprünge des Landes vor die Hauptmasse desselben nicht selten Aehnlichkeit mit den Gliedern der Thiere darbieten, so hat man auch diese Gestaltungsverhältnisse als „Gliederung“ eines Landes bezeichnet, und weil die Grenzlinie zwischen Land und Meer wie der Meeresspiegel selbst horizontal gelegen ist, näher als „horizontale Gliederung“ bestimmt.

Richten wir unser Augenmerk nun auf die Vertheilung der Gebirge, so bemerken wir, daß im Großen und Ganzen die horizontale Gliederung sich meistens abhängig zeigt von den Gebirgen. Der Umriß Südamerikas folgt dem Laufe der Anden, dem Brasilianischen Gebirge und den nördlichen Küstengebirgen, die Gestalt der skandinavischen, iberischen und italienischen Halbinsel ist bedingt durch ihre Gebirge.

Nur ausnahmsweise zeigen sich breitere Landmassen von geringer Höhe — die sog. Tiefländer — zwischen den Gebirgen und dem Meere und mit Umrissen, welche von der Richtung der Gebirge unabhängig erscheinen. Am mächtigsten haben sich dieselben wiederum auf der nördlichen Halbkugel und in den auch die reichste horizontale Gliederung zeigenden Kontinenten, in Europa und Asien entwickelt. Die Küsten der Nordsee und Ostsee, die nordrussischen Ufer, so wie auch die Meeresbegrenzung Sibiriens stehen nicht im Zusammenhang mit Gebirgen.

So führt uns die Betrachtung der bloßen Umrisse unserer Kontinente, die Anschauung und Vergleichung der horizontalen Gliederung naturgemäß zu der Betrachtung der Erhöhungen des Bodens, dem Aufbau des Landes über dem Meeresspiegel, der sogenannten vertikalen Gliederung. Drei Hauptformen hat man in dieser Beziehung unterschieden:

1. Tiefländer, worunter man ausgedehntere Landmassen versteht, deren Höhepunkte nicht mehr als 500 bis 600 Fuß erreichen, 2. Gebirgsländer oder auch Gebirge, Massenerhebungen darstellend, welche nirgends eine etwas beträchtliche ebene Fläche in einer Höhe von 1000 Fuß und darüber darbieten, sondern überall geneigte Oberflächen, 3. Plateauländer oder Hochebenen, die wie der letztere Name andeutet, bald auf größere, bald auf kleinere Strecken Ebenen erkennen lassen, welche mindestens 500 Fuß über dem Meeresspiegel liegen, aber auch wie die gewaltigen Hoch-

ebenen Centralasiens 8000 bis 10000 Fuß über den Meeresspiegel sich erheben.

Die Art und Weise nun, wie diese 3 Formen der Bodengestaltung mit einander wechseln, ihre Richtung und verhältnißmäßige Ausdehnung, die absolute Höhe der Gebirge und Plateaus bedingt die Eigenthümlichkeiten der vertikalen Gliederung der einzelnen Kontinente. Vergegenwärtigen wir uns noch die beiden physikalischen Thatsachen, daß die Temperaturverhältnisse unter sonst gleichen Umständen abhängig sind von der senkrechten Erhebung über dem Meeresspiegel, daß die Temperatur mit der Zunahme dieser abnimmt, und daß der Lauf des fließenden Wassers von der Neigung des Bodens bedingt ist, somit die Bildung und Richtung der Ströme von den Reliefverhältnissen des Bodens abhängen, so wird uns auch sofort wieder klar werden, welchen ungeheueren Einfluß auf die klimatischen und socialen Verhältnisse, vor allem auf Handel und Verkehr der Völker und auf ihr ganzes Kulturleben die vertikale Gliederung eines Landes und hier in erster Linie die Ausbildung der Gebirge haben muß. Niemand hat dieses so klar und erschöpfend für die verschiedensten Länder nachgewiesen, als unser großer Geograph C. v. Ritter, der Vater der modernen Geographie. Ein Vergleich der vertikalen Gliederung Europas mit der anderer Länder zeigt ebenfalls, daß unser Kontinent auch in dieser Beziehung die günstigsten Verhältnisse für die Entwicklung seiner Bewohner darbietet, wie er auch die reichste horizontale Gliederung aufzuweisen hat. Nirgends finden sich bei uns so kolossale Höhen, wie in Asien oder Amerika, die als eine unübersteigliche Mauer erscheinen und den Verkehr von diesseits und jenseits fast ganz unmöglich machen, und dennoch sind unsere Hochgebirge erhaben genug, um die Sonderung einzelner Völker durch natürliche Marksteine zuwege zu bringen. Nirgends finden sich auch bei uns die

Richten wir unser Augenmerk nun auf die Vertheilung der Gebirge, so bemerken wir, daß im Großen und Ganzen die horizontale Gliederung sich meistens abhängig zeigt von den Gebirgen. Der Umriß Südamerikas folgt dem Laufe der Anden, dem Brasilianischen Gebirge und den nördlichen Küstengebirgen, die Gestalt der skandinavischen, iberischen und italienischen Halbinsel ist bedingt durch ihre Gebirge.

Nur ausnahmsweise zeigen sich breitere Landmassen von geringer Höhe — die sog. Tiefländer — zwischen den Gebirgen und dem Meere und mit Umrissen, welche von der Richtung der Gebirge unabhängig erscheinen. Am mächtigsten haben sich dieselben wiederum auf der nördlichen Halbkugel und in den auch die reichste horizontale Gliederung zeigenden Kontinenten, in Europa und Asien entwickelt. Die Küsten der Nordsee und Ostsee, die nordrussischen Ufer, so wie auch die Meeresbegrenzung Sibiriens stehen nicht im Zusammenhang mit Gebirgen.

So führt uns die Betrachtung der bloßen Umrisse unserer Kontinente, die Anschauung und Vergleichung der horizontalen Gliederung naturgemäß zu der Betrachtung der Erhöhungen des Bodens, dem Aufbau des Landes über dem Meeresspiegel, der sogenannten vertikalen Gliederung. Drei Hauptformen hat man in dieser Beziehung unterschieden:

1. Tiefländer, worunter man ausgedehntere Landmassen versteht, deren Höhepunkte nicht mehr als 500 bis 600 Fuß erreichen, 2. Gebirgsländer oder auch Gebirge, Massenerhebungen darstellend, welche nirgends eine etwas beträchtliche ebene Fläche in einer Höhe von 1000 Fuß und darüber darbieten, sondern überall geneigte Oberflächen, 3. Plateauländer oder Hochebenen, die wie der letztere Name andeutet, bald auf größere, bald auf kleinere Strecken Ebenen erkennen lassen, welche mindestens 500 Fuß über dem Meeresspiegel liegen, aber auch wie die gewaltigen Hoch-

ebenen Centralasiens 8000 bis 10000 Fuß über den Meeresspiegel sich erheben.

Die Art und Weise nun, wie diese 3 Formen der Bodengestaltung mit einander wechseln, ihre Richtung und verhältnißmäßige Ausdehnung, die absolute Höhe der Gebirge und Plateaus bedingt die Eigenthümlichkeiten der vertikalen Gliederung der einzelnen Kontinente. Vergegenwärtigen wir uns noch die beiden physikalischen Thatsachen, daß die Temperaturverhältnisse unter sonst gleichen Umständen abhängig sind von der senkrechten Erhebung über dem Meeresspiegel, daß die Temperatur mit der Zunahme dieser abnimmt, und daß der Lauf des fließenden Wassers von der Neigung des Bodens bedingt ist, somit die Bildung und Richtung der Ströme von den Reliefverhältnissen des Bodens abhängen, so wird uns auch sofort wieder klar werden, welchen ungeheueren Einfluß auf die klimatischen und socialen Verhältnisse, vor allem auf Handel und Verkehr der Völker und auf ihr ganzes Kulturleben die vertikale Gliederung eines Landes und hier in erster Linie die Ausbildung der Gebirge haben muß. Niemand hat dieses so klar und erschöpfend für die verschiedensten Länder nachgewiesen, als unser großer Geograph C. v. Ritter, der Vater der modernen Geographie. Ein Vergleich der vertikalen Gliederung Europas mit der anderer Länder zeigt ebenfalls, daß unser Kontinent auch in dieser Beziehung die günstigsten Verhältnisse für die Entwicklung seiner Bewohner darbietet, wie er auch die reichste horizontale Gliederung aufzuweisen hat. Nirgends finden sich bei uns so kolossale Höhen, wie in Asien oder Amerika, die als eine unübersteigliche Mauer erscheinen und den Verkehr von diesseits und jenseits fast ganz unmöglich machen, und dennoch sind unsere Hochgebirge erhaben genug, um die Sonderung einzelner Völker durch natürliche Marksteine zuwege zu bringen. Nirgends finden sich auch bei uns die

1*

ungeheuer ausgedehnten hohen Plateauländer, wie in Asien mit dem schroffen Gegensatz zu den davor gelegenen Tiefländern und den ungünstigen Folgen für die Entwicklung der Flußsysteme, der Pflanzen- und Thierwelt. Während in den anderen Erdtheilen Hochländer uud Tiefländer wenig ineinandergreifen und meist in gewaltiger Ausdehnung einförmig endlos sich hinziehen, findet sich in Europa ein außerordentlich häufiger Wechsel von Hochland und Tiefland, eine ganze Reihe isolirter Gebirge, kleinerer Tiefländer und Hochländer und eine Fülle von allen Seiten in die Mitte der Länder eingreifender Flußsysteme.

Unter allen europäischen Gebirgen ragt eines vor allen übrigen hervor sowohl hinsichtlich seiner Ausdehnung und seiner Höhe, als auch seiner Lage und dem Einflusse, den es auf die Gestaltung des ganzen Erdtheiles und auf seine natürliche Beschaffenheit ebenso wie auf die Geschichte seiner Bewohner ausgeübt hat und noch ausübt, die Alpen.

„Das Alpengebirge theilt Europa in seine großen natürlichen Provinzen"*). Es scheidet seinen Lufthimmel, seine großen Klimate, in einen Norden und Süden, Westen und Osten: Deutschland, Italien, Frankreich und Ungarn. Es scheidet seine Stromgebiete und Stufenländer: Rhone-, Rhein-, Po-, Donau-Gebiet. Es scheidet ebenso durch seine Hauptmassen die Stämme, die Sprachen der Völker, die Staaten und politischen Reiche. Auch der Fauna und Flora von Europa setzt es ihre natürlichen Grenzen. Diese Scheidung ist aber keine absolute Trennung und Isolirung, weder des Südens vom Norden, noch des Westens vom Osten. Denn überall führen theils zu den Seiten, theils mitten hindurch, Stromthäler, Thalschluchten, Pässe und die verschiedensten Arten natürlicher und künstlicher Kommunikationen. Es vereint das

*) Ritter, Europa. Herausgeg. v. Daniel. S. 178.

Maximum der Erhebungen mit dem Maximum der Passagen. Das imposante System des Alpengebirges ist also dennoch kein isolirender Naturtypus für seinen Erdtheil geworden; es ist kein wildes, öde aufstarrendes, unwirthliches, kaltes Polarland in der Mitte der gemäßigten Zone, wie die hohe Wüste Kobi auf dem Plateau der Mongolei — nein, ein verhältnißmäßig gegen den Kontinent sehr breiter Gürtel voll der schönsten Naturschönheiten, voll isolirter Gipfel, kommunicirender, fruchtbarer, reich bewässerter Tiefthäler. Dieser Gebirgsgürtel wird an Schönheit, Fülle und Mannigfaltigkeit der Naturgaben, zumal an Bewohnbarkeit und Kulturfähigkeit für veredeltere Menschengeschlechter von keinem andern der Erde übertroffen. Das Alpenland schließt in seinem Innern mehrere Millionen Menschen ein, die sich zu selbständigen Völkerschaften und Staatensystemen ausbildeten. Sein Inneres gehört daher in Bezug auf Menschengeschichte recht eigentlich dem klassischen Boden der europäischen Historie an. Ueber ihn sind alle Gaben reichlich vertheilt, welche für die höhere Entwicklung der Völker ein Bedürfniß sind."

Eben diese Mannigfaltigkeit anziehender Erscheinungen neben der Fülle der Naturschönheiten, üben einen mit der Erleichterung des Verkehrs alljährlich sich steigernde Zugkraft auf alle diejenigen aus, welche dem alltäglichen Leben und der gewohnten Beschäftigung auf einige Zeit sich auch räumlich entziehen wollen, und machen die Alpen zu einem Ziele des Wandertriebes der Angehörigen aller Nationen, wie keine andere Gegend der Erde es in gleichem Grade noch gewesen ist. In welcher Absicht aber auch der Einzelne dieses Gebirge betreten mag, die Mannigfaltigkeit und die Großartigkeit der Naturerscheinungen wird Jeden mit überwältigender Kraft ergreifen und unbewußt oder bewußt Jeden zur Naturbeobachtung veranlassen. Aus diesem Grunde möchte daher eine Schilderung der Natur des Alpengebirges Manchem

sowohl auf, wie nach seiner Wanderung in demselben nicht unwillkommen sein. Da, wie schon erwähnt wurde, die Erhebung des Gebirges über den Meeresspiegel alle übrigen physischen Verhältnisse, Wasserlauf, Temperatur u. s. f. bedingt, so haben wir vor allem die wichtigsten Verhältnisse des Aufbaues des Gebirges, die Orographie ins Auge zu fassen, der sich dann zunächst die Hydrographie, die Betrachtung des Wasserlaufes und der Wasseransammlungen naturgemäß anreiht, da beide zusammen die übrigen physischen Erscheinungen entweder ausschließlich bedingen oder jedenfalls wesentlich beeinflussen.

Orographie der Alpen.

Lage und Ausdehnung.

Zwischen dem 43.° und 48.° n. Br. von den Ufern des Mittelmeeres bis an die Donau reichend, also in der Mitte zwischen dem Pol und dem Aequator ist die Lage der Alpen eine der günstigsten, welche ein Gebirge haben kann, indem es ganz der gemäßigten Zone und zwar wiederum der Mitte derselben angehört. Von Westen nach Osten erstreckt es sich nach Ritter über 12 Längengrade vom 23.° bis zum 35.° ö. L. Doch ist bei dieser Begrenzung an zwei Punkten ein scharfer natürlicher Abschnitt nicht gegeben, und daher weichen auch die Annahmen über die Ausdehnung der Alpen etwas von einander ab. Nimmt man eine Karte zur Hand, so sieht man sofort, daß an zwei Punkten die Alpen weder durch einen Fluß oder durch eine Ebene begrenzt werden, sondern, daß sich weitere Bergreihen an sie anschließen, nämlich im Südwesten und im Südosten. Dort sind es die Apenninen, welche als unmittelbare Fortsetzung der Alpen

erscheinen, hier setzt sich das Gebirge durch Dalmatien hindurch fort und läßt ebenfalls keine natürliche Grenze erkennen, selbst der geologische Aufbau, der in Alpen und Apenninen ein ganz verschiedener ist, bleibt in den Südostalpen und dem Dalmatischen Gebirge noch gleich. Hier ist es lediglich die stark veränderte Richtung, welche das Gebirge einschlägt, welche uns veranlaßt, die Grenzlinie, wie sie im Nordosten und Osten durch die ungarische Ebene gegeben ist, weiter nach Süden auszudehnen und so die Alpen von den weiter östlich nach Süden sich umbiegenden Gebirgen abzuschneiden. Mit Ritter würde dieser Schnitt zwischen Karlstadt und Zengg das schmale Verbindungsglied zwischen Alpen und den Illyrischen Gebirgen durchsetzen.

Die größte Längenausdehnung zwischen Avignon und Wien beträgt 135 g. Meilen, während die Achse des Gebirges von Genua aus (wenn man mit Studer am Passe Bocchetta di Genova die Alpen beginnen läßt) bis gegen Wien 160 g. Meilen Länge hat. Die größte Breite Europas vom C. Finisterrae bis zur Mündung des Ural in das kaspische Meer beträgt 600 g. Meilen, so daß sich das Alpengebirge, dessen Längenachse ziemlich genau dieser Linie parallel geht, der Breite nach nahezu über ein Viertel des europäischen Kontinentes erstreckt. Unter den 3 im allgemeinen von Ost nach West sich ziehenden europäischen Hauptgebirgen, dem Kaukasus, den Pyrenäen und den Alpen haben die letzteren, die Krümmung bei der Länge mitgerechnet, die größte Länge, dagegen stehen sie in dieser Beziehung dem Skandinavien von Nord nach Süd durchziehenden Gebirge nach.

Es liegt in der Natur des Gebirges, daß der Flächeninhalt desselben nicht ganz genau angegeben werden kann, da die Grenze zwischen dem Gebirge und der Ebene, in die es sich verliert, keine scharf abgeschnittene ist. In runder Zahl gibt C. v. Ritter den Flächeninhalt der Alpen zu 6000 Q. M.

an, also gleich dem dreißigsten Theile von Europa oder etwas mehr als die Hälfte des Flächeninhaltes des Deutschen Reiches. v. Klöden*) findet durch genaue Messungen 5362,9 g. Q. M., für das wirkliche Alpenland sogar nur 3659 Q. M. Die Bevölkerung kann auf 6 Millionen veranschlagt werden, wovon 3 1/2 Millionen auf Oesterreich und Bayern kommen.

Eintheilung der Alpen.

Man hat bei der gewaltigen Ausdehnung des Gebirges und bei der wechselnden Richtung des Verlaufes desselben von jeher das Bedürfniß gefühlt, eine Theilung des Gebirges in natürliche Gruppen vorzunehmen. Schon ehe man von geographisch wissenschaftlichen Prinzipien aus dieses unternahm, hat man nach den politischen, ethnographischen oder historischen Verhältnissen einzelne Theile der Alpen mit besonderen Namen belegt.

In der neueren Zeit hat man vielfach eine genaue geographische Sonderung in einzelne Theile vorgenommen, ohne daß es jedoch gelungen wäre, eine Uebereinstimmung zu erzielen. Es ist dieses insofern auch nicht anders zu erwarten, als jede Sonderung, so wie sie scharf durchgeführt wird, etwas Unnatürliches und somit Willkürliches hat, da das Alpengebirge ein Ganzes bildet, dessen Theile so sehr mit einander zusammenhängen und so in einander fließen, daß wohl von der einen Seite oder selbst von mehreren eine Masse sich scharf von den andern gesondert zeigt, dagegen auf anderen Seiten wieder auf das engste mit benachbarten derartig verknüpft ist, daß von einer natürlichen Abgrenzung hier keine Rede sein kann. Dazu kommt dann noch der Umstand, daß über das Princip, welches der Eintheilung zu

*) „Das Areal der Hoch- und Tieflandschaften Europas."

Grunde gelegt werden soll, durchaus keine Uebereinstimmung erzielt worden ist und wohl auch nicht erzielt werden dürfte. Sollen die orographischen Verhältnisse, d. h. lediglich die Verhältnisse der vertikalen Gliederung für die Eintheilung maßgebend sein, oder die geologischen, welche die Gesteinsbeschaffenheit zunächst ins Auge faßt, oder die hydrographischen, vorzugsweise den Lauf der Flüsse und die Richtung ihrer Thäler berücksichtigenden?

Je nachdem die Antworten auf diese Fragen verschieden gegeben werden, werden auch verschiedene Arten der Eintheilung aufgestellt werden.

Trotzdem finden wir im Allgemeinen, wenigstens in den Hauptzügen der Eintheilung, wenn auch nicht Uebereinstimmung im Prinzip, doch ein Zusammentreffen in vielen Einzelnheiten. Zunächst handelt es sich ja wie bei jeder Klassifizirung doch nur darum, zur Erleichterung unseres Verständnisses die im ganzen nicht zu übersehende Masse von Bergketten und Thälern in einzelne Gruppen zu sondern. Es ist also in erster Linie geographische Zweckmäßigkeit, welche uns überhaupt zur Eintheilung treibt, und es wird daher immer mehr der geographische Standpunkt dabei festzuhalten sein. Von diesem aus ergibt sich die Aufgabe: die mannigfach in einander greifenden Gebirgsmassen so in einzelne Gruppen zu theilen, daß die Grenzen derselben möglichst einfachen Verlauf haben und mit den von der Natur gegebenen Abgrenzungen möglichst zusammenfallen. In der Natur sind nun die Grenzen, welche die einzelnen Theile von einander sondern, offenbar durch die Flußthäler gegeben. Je breiter, je tiefer diese eingeschnitten sind, desto schärfer sondern sich die einzelnen Massen von einander. Wir haben jedoch kein einziges Thal, welches der ganzen Länge nach oder der ganzen Breite nach die Alpen durchsetzte. Alle Thäler werden, je weiter sie in das Gebirge eindringen, um so schmäler und seichter, verlieren sich

zuletzt auf einer Höhe vollständig und lassen uns nun rathlos stehen, in welche der nicht weit entfernt davon beginnenden Wasserrinnen, durch welche die Natur wie mit einem Meisel die Skulptur des Gebirges erzeugte, wir die Fortsetzung der Grenze führen sollen. Wenn man eine gute Reliefkarte der Alpen betrachtet, so kann man hier auf einen Blick sich von der Sicherheit und Naturgemäßheit vieler solcher angenommener Grenzen und ebenso wieder von der Unsicherheit anderer überzeugen und davon, daß der Freiheit ein weiter Spielraum gelassen ist.

Daß das Rhonethal vom Genfersee aufwärts eine solche natürliche Abgrenzung der Berner gegen die sog. Penninischen Alpen bilde, das springt sofort in die Augen; wie aber die Querlinie zu ziehen sei, welche jene im Osten begrenzen, darüber läßt sich etwas Sicheres nicht sagen. Wir können sie über die Grimsel durch das Oberhasli- und Aarthal entlang ziehen, oder aus diesem wieder über den Brünig zum Vierwaldstädter See, oder gleich weiter nach Osten über die Furka und dann das Reußthal hinab. Die Quertheilung im Süden können wir ebenso durch das Val Formazza oder ebenfalls etwas weiter östlich durch das Tessinthal gegeben annehmen.

In den eben angeführten Beispielen läßt uns ein Zuratheziehen der geologischen Verhältnisse ebenfalls im Unsicheren; wir durchschneiden in dem einen wie in dem andern Falle dieselben Gesteine, ob wir die Quergrenze weiter nach Osten oder Westen verlegen. Wo freilich in einem zweifelhaften Falle die eine der vom rein geographischen Standpunkte gleichberechtigten Annahmen durch die Betrachtung der geologischen Verhältnisse als naturgemäßer erscheint, wenn z. B. die eine der geographischen Grenzen zugleich als geologische sich zeigte, so würde dadurch diese letztere entschieden vor den andern Annahmen den Vorzug verdienen. Eine Berücksichti-

gung der geologischen Verhältnisse ist daher für den Geographen eine Nothwendigkeit, wenn schon zugegeben werden muß, daß leider sehr oft, ja fast in den meisten zweifelhaften Fällen die Geologie der Geographie keine besonderen Dienste zu leisten im Stande ist.

Der Grund von dieser auf den ersten Blick etwas befremdlichen Behauptung ist der, daß die Skulptur der Erdrinde durch die Bewegungen der letzteren, wie durch die Thätigkeit des Wassers erzeugt ist, und wenn auch etwas modifizirt, doch im wesentlichen unabhängig ist von der geologischen Beschaffenheit derselben, geologische und geographische Grenzen daher selten zusammenfallen. Ein Blick auf eine geologische Karte, die Betrachtung der Verhältnisse eines oder des anderen Flußthales, einer oder der andern wohl geschiedenen Gebirgsgruppe läßt dieses sofort erkennen; das lange Innthal scheidet fast nirgends verschiedene geologische Bildungen; in den durch die 4 Flüsse Arve, Dora, Drance und Von Nant so scharf abgesonderten Gebirgsstock des Mt. Blanc dringen die verschiedenartigsten Gesteine von allen Seiten ein, dieselben Gesteine finden sich auf dem rechten, wie auf dem linken Ufer der genannten Flüßchen.

Nach diesen Bemerkungen über die Unsicherheit der Unterabtheilungen des Alpengebirges wollen wir die gebräuchlichsten kurz hier erwähnen.

Bei der verhältnißmäßig geringen Breite desselben ist eine Theilung in der Richtung der Länge, d. h. parallel der Längsachse weniger Bedürfniß. Doch ergibt sich hier durch die geologische Verschiedenheit der äußeren und inneren Ketten eine naturgemäße Unterscheidung dreier Zonen, die man meist nach Studer als Centralalpen, nördliche und südliche Nebenzone bezeichnet. Die ersteren, vorherrschend aus Gesteinen der Urformationen, krystallinischen gemengten Gesteinen und Schiefern bestehend, enthalten, gleichsam die Achse des Gebirges

darstellend, alle die höchsten Gipfel. Die beiden Nebenzonen bestehen überwiegend aus Kalkmassen und werden deswegen auch häufig als nördliche und südliche Kalkalpen bezeichnet.

Auch diese Eintheilung ist jedoch nicht für alle Theile des Gebirges gültig. Wie ein Blick auf die Karte zeigt, findet sich zwar die nördliche Nebenzone von den Ufern der Durance bis nach Wien überall, aber auf der Südseite fehlt sie westwärts vom Lago Maggiore fast völlig, hie und da treten auch die Gebilde der Nebenzonen weit in die Centralzone ein, und diese selbst erscheint wieder hie und da getheilt und aus dem Centrum an den Rand gedrängt. Doch ist für den größten Theil der Alpen diese Dreitheilung scharf ausgeprägt und auch in der Form der Berge bestimmt ausgesprochen.

Größeren Schwierigkeiten begegnet die Quertheilung der Alpen. Zwar nimmt man auch hier wieder allgemein 3 große Abtheilungen in gleicher Weise an, indem man Westalpen, Mittelalpen und Ostalpen unterscheidet, allein über die Grenzen der einzelnen Theile ist nicht die gleiche Uebereinstimmung zu finden. Der so gründliche Kenner der Alpen Emmerich läßt die Westalpen vom Mittelmeer bis zum kleinen St. Bernhard sich erstrecken, die Mittelalpen von da bis zum Kalschberge, im Norden bis zur Salzach, im Süden bis zu den Quellen der Gail; K. v. Sonklar, dem die Geographie der Alpen besonders viel verdankt und der gerade einer natürlichen Unterabtheilung des Alpensystems besondere Studien gewidmet hat, läßt die Westalpen bis zum großen St. Bernhard gehen und die Ostalpen schon bei dem Naudersser Querthal beginnen, während Andere die Grenze zwischen Mittel- und Ostalpen über den Brennerpaß, oder selbst an die Dreiherrenspitze verlegen.

Bei der weiteren Unterabtheilung folgen wir der von Studer für die Westalpen und Mittelalpen gegebenen, für die Ostalpen der von K. v. Sonklar aufgestellten.

Für die Westalpen hat Studer folgende Gruppen aufgestellt:

1. Ligurische Alpen. Nördlich von Genua beginnend, anfangs genau von O. nach W. sich hinziehend, bis in das Thal der Stura reichend. Der höchste Berg dieser Gruppe, der M. Gioje steigt bis zu 8166 F. (2654 m.).

2. Die Meeralpen mit der Richtung nach N.-West in den Thälern der Stura und Tinea, mit der Cima dei Gelas 9790 F. (3180 m.).

3. Die Cottischen Alpen, von Süden nach Norden sich ziehend, vom Colle dell' Argentera im Süden bis zum Mt. Genèvre und Susa nach Norden reichend. Im Mittelpunkte der Gruppe der Mte. Viso 11820 F. (3840 m.) hoch.

4. Die Grajischen Alpen an der Stelle, wo die Umbiegung des Gebirges zur nordöstlichen Richtung schon deutlich hervortritt. Die Verwicklung der Gebirgsmassen, die Unregelmäßigkeiten im Fallen und Streichen der Schichten ist hier außerordentlich stark und erschwert hier die natürliche Abgrenzung bedeutend. Im Westen erscheint die Gruppe als eine vergletscherte Wand mit einer großen Zahl 10000 Fuß hoher Gipfel (Roche Melon 10900 F. (3542 m.), Roche Michel 3495 m. u. a.). Im Norden reicht sie bis zur Dora Baltea.

5. Die Alpen von Oisans, westlich von der oberen Durance eine kleine durch sehr hohe kühn gestaltete Berge ausgezeichnete Gruppe bis zu 13000 F. hoch. Der Mt. Ollan hat 12965 F. (4212 m.) Aiguille du Midi 12270 F. (3986 m.), der Grd. Pelvoux 12110 F. (3934 m.).

6. An die vorige sich im Nordwesten anschließend, die ebenfalls kleine Gruppe der Rousses, bis nach St. Jean de Maurienne sich fortsetzend.

7. Die Westalpen (im engeren Sinne), zwischen Isère und Rhone bis zum Col du Bonhomme und die

Grajischen Alpen sich erstreckend. Sie erreichen im Mt. Iseran eine Höhe von 12450 F. (4045 m.).

II. Die Mittelalpen. Auf eine weitere geographische Eintheilung der Schweizer Alpen verzichtend, hat Studer vom geologischen Baue ausgehend zunächst die Centralalpen in 11 besondere Centralmassen getheilt, die er als die Centralmasse der Aiguilles Rouges — des Mt. Blanc — des Finsteraarhornes — des St. Gotthards — der Walliser Alpen — der Tessiner Alpen — des Adulagebirges — des Suretagebirges — des Seegebirges (um die Seen des Südabhanges der Alpen herum) — des Bernina und des Selvretta bezeichnet.

Für einige Theile der Mittelalpen werden ebenfalls noch aus älterer Zeit stammende Namen häufig gebraucht. Nämlich Penninische Alpen, die vom Mt. Blanc bis zum Mte. Rosa reichenden Gebirgsmassen — Lepontische vom Val Formazza bis zum Hinterrhein. Rhätische Alpen, die Gebirge vom Splügen östlich bis zu den eigentlichen Ostalpen, je nachdem man dieselben weiter östlich oder westlich beginnen läßt in verschiedener Ausdehnung. Neben diesen Namen hat man auch noch nach den Kantonen der Schweiz einzelne Gruppen abgesondert und so unterschieden: die Berner Alpen, die Vierwaldstädter Alpen zwischen Reuß und Emmee, die Glarner Alpen vom Vorderrhein südlich und östlich vom Zürcher und Wallensee nördlich begrenzt, die Appenzeller Alpen nördlich der vorigen bis zum Bodensee.

III. Die Ostalpen. Wir trennen dieselben mit K. v. Sonklar durch das Nauderser Querthal in den Centralalpen von den Mittelalpen und ziehen ebenso die Grenze in den Nordalpen über Landeck, Feldkirch nach Bregenz, in den Südalpen durch das Thal der Etsch bis Verona. Die centralen Ostalpen zerfallen nach demselben in folgende Gruppen:

1. Die Oetzthaler Gruppe, von Etsch und Inn im Süden und Norden, von Sill und Eisack im Osten, vom

Nauderser Querthal im Westen begrenzt, höchster Berg die Wildspitze 11594 Par. F.

2. Die Zillerthaler Gruppe, östlich der vorigen Gruppe, östlich bis Kriml, südlich bis Bruneck, nördlich bis zum Inn reichend, mit dem 11122 W. F.*) (3514 m.) hohen Hochfeiler.

3. Die hohen Tauern, nördlich von der Salza, südlich von Rienz und Drau, östlich vom Großarlthal, Maltein- und Lieserthale begrenzt, die beiden höchsten Berge sind westlich der Großvenediger 11313 F. (3672 m.) und der Großglockner 12158 F. (3949 m.).

4. Die steirischen Alpen, das östliche Ende der Centralalpen bis zur Ebene, im hohen Hafnereck südlich noch 9648 W. F. (3046 m.) erreichend.

In den Nordalpen unterscheidet v. Sonklar von West nach Ost:

1. Die Vorarlberger und Allgäuer Alpen. Rothewand 8531 F. (2696 m.).

2. Die nordtirolischen Kalkalpen, in der das Wettersteingebirge mit der 9450 F. (2986 m.) hohen Zugspitze dominirt.

3. Die Kitzbüchler Alpen, südlich von den vorigen.

4. Die Salzburger Alpen mit dem Ewig-Schneeberg bei Werfen 9300 W. F. (2939 m.).

5. Oestlich der Salzach die österreichischen Kalkalpen mit dem 9300 F. (2939 m.) hohen Dachstein.

Die Südalpen zerfallen nach v. Sonklar in folgende Gruppen, ebenfalls von West nach Ost geordnet:

1. Die orobische Kette, ganz in Italien liegend.

2. Die Ortleralpen, südlich der Etsch im Ortler 12020 F. (3798 m.) erreichend.

3. Die Adamellogruppe mit dem Berge gleichen Namens, der 11490 W. F. (3605 m.) mißt.

*) 1000 Wiener Fuß sind 973 Par. F.

(Wegen der großen Masse von Urgesteinen werden diese 3 Gruppen von den Geologen meist zu den Centralalpen gerechnet.)

4. Die Tridentinischen Alpen, östlich von Ortler und Adamello bis zu der Etsch reichend, in der Lima di Brenta 10278 W. F. (3247 m.).

5. Die lessenischen Alpen zwischen Etsch und Brenta, mit dem Mt. Passubio 8071 F. (2583 m.) Höhe erreichend.

6. Die südtirolischen Dolomitalpen, westlich von Etsch und Eisak, nördlich von Rienz und Drau, östlich vom Sexten- und Kamelikothale und der Piave, südlich von der Val Sugana eingeschlossen. In ihr kommen jene schroffen und bizarren Bergformen vor, welche sie so berühmt gemacht haben, unter ihnen die Vedretta Marmolata 11050 W. F. (3491 m.)

7. Die carnischen Alpen, bis Villach reichend, im Kreuzbergkofel 8937 F. (2908 m) und in der Eisenspitz 9297 F. (2937 m.) erreichend.

8. Die Venetianer Alpen, zwischen Piave und Tagliamento.

9. Die Julischen Alpen, zwischen Tagliamento und der Wurzner Save mit dem noch 9030 F. (2853 m) hoch sich erhebenden Terglou.

10. Die Karawanken, das an der Drau sich hinziehende Ende der Ostalpen, nur noch bis 6800 F. (2148 m.) im Stou-Urch, westlich vom Loiblpasse ansteigend.

11. Die Steiner, Sulzbacher oder Sannthaler Alpen, südlich von den Karawanken. Der höchste Gipfel ist der Grintouz 8090 F. (2556 m.).

12. Das Bachergebirge, südwestlich von Marburg, völlig isolirt im Bacher selbst nur noch 4255 F. (1312 m.) hoch. (Auch dieses, aus Urgebirgsarten bestehend, wird von Emmerich den Centralalpen zugerechnet.)

Die Gestaltungselemente des Gebirges.

Ueberblickt man von einem der vielen Vorberge der Alpen, wie dem Rigi, dem hohen Peißenberge oder der hohen Salve, oder der lombardischen Ebene aus die vor einem liegende Gebirgsmasse, so erscheint dieselbe als ein Chaos von Bergen und Spitzen, die in der Ferne den Charakter einer zusammenhängenden schartigen Mauer anzunehmen scheinen. Nirgends zeigt sich irgend eine Regelmäßigkeit in diesen Massen. Anders gestaltet sich schon der Anblick, wenn man eines der längeren Thäler durchzieht oder auch an einer passenden Stelle desselben die eine Thalwand ersteigt. Man überzeugt sich dann, daß ein viel größerer Zusammenhang zwischen den einzelnen Massen stattfindet, und daß der Anblick der ferneren Gebilde von einem der genannten Aussichtspunkte eine richtigere Vorstellung von der Natur des Gebirges gewährt, als die Betrachtung der nächsten Berge.

Wir unterscheiden schon im gewöhnlichen Leben drei verschiedene Formen, in denen uns die Massen des Gebirges erscheinen, nämlich Berg, Gebirgsstock und Gebirgskette. Eine scharfe Definition für den ersteren Begriff fehlt uns aber noch immer, wie schon Ritter in seiner Einleitung zur vergleichenden Erdkunde 1852 bemerkte. Ganz unwillkürlich verbinden wir offenbar mit dem Begriffe Berg den Begriff der Individualität, eines einheitlichen Ganzen, und die Höhe kommt dabei so wenig in Betracht, daß selbst auf Erhebungen von nur 100 Fuß Höhe, sofern sie nur eine rings abgeschlossene einheitliche Masse darstellen, der Name Berg angewendet wird.*) Ebenso verbinden wir damit die

*) Ein spezifischer Unterschied zwischen Berg und Hügel besteht nicht, ebensowenig eine durch den Gebrauch festgesetzte Grenze der Höhe für beide, daher wir uns nicht weiter auf eine Definition von Hügel einlassen.

Vorstellung, daß die Ausdehnung in horizontaler Richtung von allen Seiten nach oben hin abnehme und daß der Durchmesser der Basis nicht allzusehr die Höhe übertreffe. Als ideale Grundform eines Berges können wir die Kegelform hinstellen, die in so vielen isolirten Bergen besonders unter den Vulkanen sich so höchst regelmäßig zu erkennen gibt.

In den meisten Gebirgen, wie auch in den Alpen gibt es freilich in diesem Sinne (so parador es auch erscheinen mag) nur wenig Berge; die Massen treten hier so nahe aneinander und fließen so zusammen, daß nur sehr selten nach allen Seiten hin gesonderte Massen von geringer horizontaler Ausdehnung losgelöst von andern sich finden. An ihrer Stelle erscheinen die beiden andern Grundformen der Bodenerhebungen, die Gebirgsstöcke und die Gebirgsketten. Was zunächst die letzteren betrifft, so könnten wir dieselben kurz als eine Reihe in einer Linie mit einander verwachsener Berge bezeichnen; die ideale mathematische Form, die ihnen zu Grunde liegt, wäre ein dreiseitiges Prisma, dessen horizontale Basis sehr beträchtlich die Höhe übertrifft. Mehrere solcher Ketten können miteinander verbunden sein; in sehr vielen Gebirgen finden wir eine solche Verbindung in zweierlei Weise hergestellt: einmal, indem von einem Punkte aus mehrere Ketten auseinandergehen, wie z. B. an dem Monte Rosa, von dem aus, wie es die folgende Fig. 1 zeigt, von dem Hauptzweige der Penninischen Alpen ein Ast nordwärts zur Rhone, der andere südöstlich zum Lago Maggiore sich wendet, oder am St. Gotthardstock' an dem die zu beiden Seiten der Reuß, wie des Vorderrheins und des Tessins sich hinziehenden Ketten zusammentreffen.

Der zweite Fall ist der häufigere, es zeigt sich in diesem von einzelnen Stellen einer längeren Kette ein Abzweigen kleinerer, die man wohl auch als Nebenketten bezeichnet hat. Auch hiefür liefern uns die Penninischen Alpen gute Beispiele

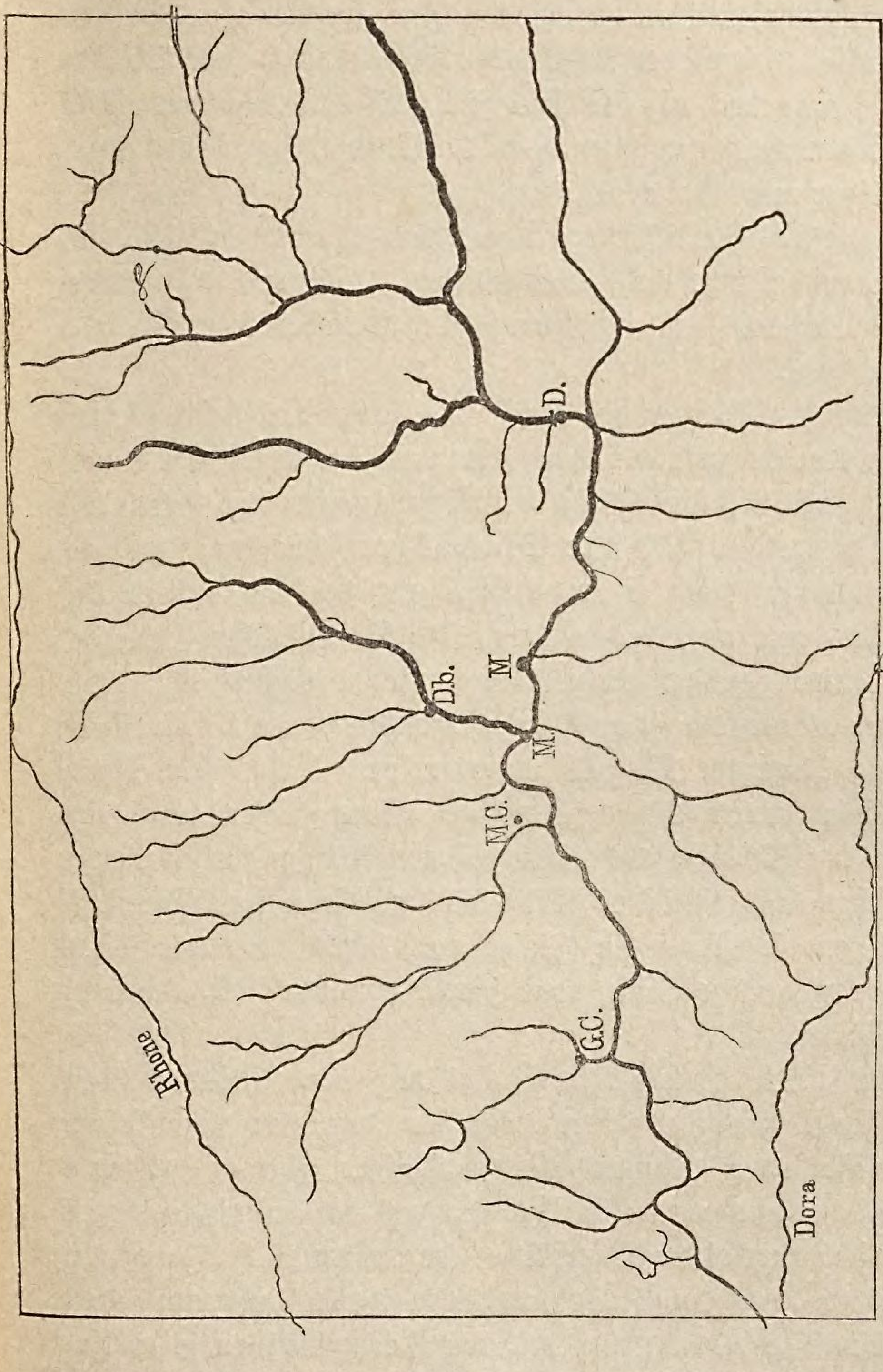


Fig. 1.
G. C. = Gr. Combin. M. C. = Mont Colon. M. = Matterhorn. D. b. = Dent blanche. D = Dufour-Spitze des Mte. Rosa.

an den vom Hauptkamme sich nordwestwärts abzweigenden 4 Ketten zwischen den in neuerer Zeit so vielfach besuchten Thälern Entremont, der Bagne, den Erin-Einfisch- und Visper-Thälern, und den auf der Südseite nach Südwest und Süd verlaufenden Ketten zwischen dem Val Pellina, Val Tournanche, Val d'Ayax und Val de Gressonay.

Wenn in einem Gebirge dieser Bau deutlich entwickelt ist, nennt man dasselbe ein Kettengebirge. Alle eine nur etwas größere Länge besitzenden Gebirge sind Kettengebirge, so auch unsere Alpen.

Nach zwei Seiten hin weicht die Form der Gebirgsketten von der idealen prismatischen Form in der Wirklichkeit aber stets ab, nämlich hinsichtlich der Richtung und der Form der Linie, in welcher sich ihre Seitenflächen schneiden, der sog. Kammlinie. Bei einem dreiseitigen Prisma ändert sich weder das eine noch das andere, die Seitenflächen schneiden sich in einer geraden Linie. Bei unseren Gebirgen ist der Lauf der Kammlinie sowohl in horizontaler, wie in vertikaler Richtung häufigem Wechsel unterworfen. Schon der Name Kammlinie deutet das letztere an. Eben dieser beständige Wechsel der Umrisse des Gebirgskammes trägt soviel zu der malerischen Schönheit des Gebirges bei, die unsere Phantasie beschäftigend selbst in der Nacht noch bleibt, wo wir nichts als diese vielzackige Linie vom Himmelsgrunde sich abhebend sehen können.

Als dritte Grundform haben wir den Ausdruck Gebirgsstock gewählt. Wir verstehen darunter eine Masse von mehr oder weniger unregelmäßiger Form, größerer horizontaler und vertikaler Ausdehnung und unregelmäßiger, mannigfach zertheilter Oberfläche, deren einzelne Theile aber doch einen gewissen Zusammenhang theils äußerlich durch ihre räumliche Abgrenzung anderen Gebirgsmassen gegenüber erkennen lassen, theils auch durch ihren Bau und ihre geo-

logische Beschaffenheit als eine zusammengehörige und in einem genetischen Zusammenhange stehende Bodenerhöhung sich erweisen. Ein großer Theil der von Studer als Theile des Alpengebirges aufgeführten Centralmassen sind solche Gebirgsstöcke. Eines der charakteristischsten Beispiele liefert die Centralmasse des Mont Blanc. Sie stellt eine gewaltige Erhebung dar, die von Südwest nach Nordost vom Val Montjoïe zum Val Ferret nahezu 6 geographische Meilen lang und zwischen dem Chamounythale und dem Val Veni auf der Südseite des Stockes 2½ g. M. breit ist. Um den höchsten Gipfel der Gruppe, B, der zugleich der höchste Gipfel des Alpengebirges ist, 14809 F. (4810 m.) erhebt sich eine große Anzahl von Spitzen und Zacken, Aiguilles genannt, ein wahres Chaos himmelstrebender Pfeiler und Kegel. Sie sind die hervorragenden Spitzen der Wände, welche zwischen den mulden- und rinnenförmigen Vertiefungen sich erheben und diese von allen Seiten und in den verschiedensten Richtungen in die Centralmasse eindringenden Hohlformen des Bodens von einander scheiden.

Die folgende Figur 2 gibt die oft mäandrisch gewundene Richtung dieser meist wie Dachfirsten scharf endigenden, aber in senkrechter Richtung ebenfalls ganz unregelmäßig auf- und absteigenden Wände.

Die räumlichen und plastischen Verhältnisse allein würden in vielen Fällen kaum ausreichen, um Gebirgsstock und Gebirkskette von einander scharf zu sondern, da auch in den ersteren oft mehrere Gipfel in einer Linie aneinander gereiht sind, eine wenn auch kürzere wahre Kammlinie sich in ihnen zu erkennen gibt, wohl aber ist es der innere Bau, der uns eine solche Centralmasse als etwas für sich bestehendes und auch durch seine Entstehung als ein von der übrigen Masse des Gebirges abgesondertes Glied des Ganzen zu betrachten zwingt, nicht als einen Theil desselben, der nur zufällig durch

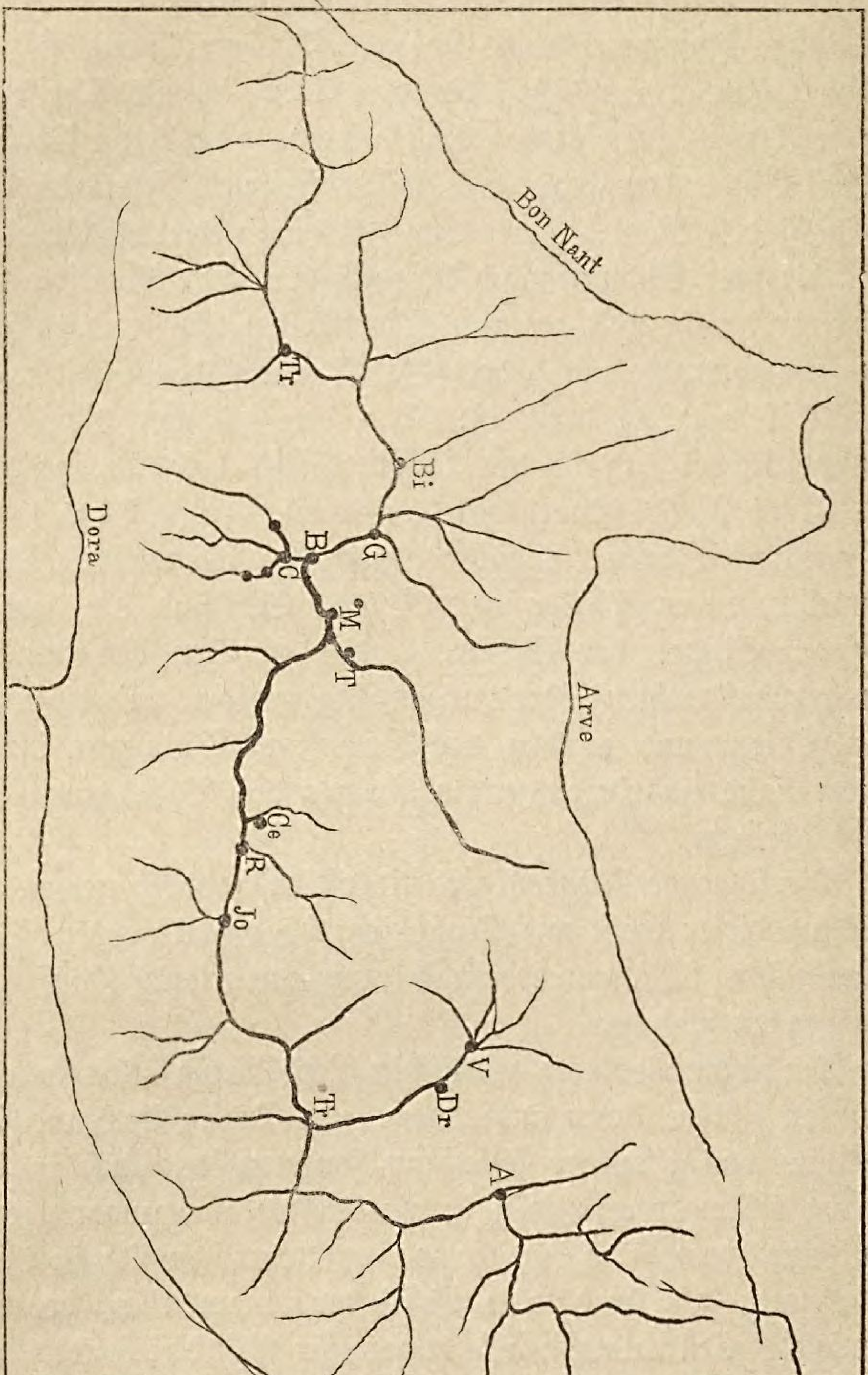


Fig. 2.

die Wirkung der Verwitterung aus seinem Zusammenhange mit dem Ganzen losgelöst wurde, wie dies bei einzelnen Bergen häufig der Fall gewesen sein mag. Wir werden darauf in dem Theile, der sich mit der Geologie der Alpen befaßt, noch näher eingehen, wenn wir die Frage erörtern, wie das Alpengebirge seine jetzige Gestalt erhalten habe. Ebenso ist eine scharfe Grenze zwischen Berg und Gebirgsstock nicht zu ziehen. Es liegt das in der Natur der Sache, da es sich hier nicht um wirkliche Individuen handelt, sondern um Gebilde, die auch in der Natur in einander übergehen und durch physikalische Vorgänge in einander übergeführt werden können. Ein gewaltiger Berg kann im Lauf der Zeiten so durch die Verwitterung zertheilt werden, daß wir ihn als Gebirgsstock bezeichnen würden, und umgekehrt wird ein Gebirgsstock wie der des Mont Blanc durch die fortschreitende Zerstörung schließlich so weit getheilt werden, daß der Zusammenhang seiner einzelnen Glieder so wenig mehr sichtbar sein wird, daß man ihn bei der Bezeichnung nicht mehr berücksichtigen und die getheilte Massen als verschiedene Berge wird bezeichnen müssen. Mit einem Worte, die Wandelbarkeit der Formen, der reale Uebergang der einen in die andere macht es uns unmöglich in allen Fällen eine scharfe Grenze auch zwischen diesen beiden Grundformen der Erhebung zu ziehen.

Wir haben den Begriff „Gebirge“ bisher nicht definirt. Es dürfte dies jetzt, nachdem wir die Theile eines Gebirges kennen gelernt haben, auch kaum mehr nöthig sein, doch wird jetzt die von C. Ritter gegebene Definition, die auch v. Sonklar im wesentlichen angenommen hat, ohne weiteres verständlich sein. Er bezeichnet ein Gebirge „die Summe nach einer gewissen Ordnung, nach gewissen Gesetzen und mit bestimmter Begrenzung zusammengruppirter Berge“, oder wie wir hinzufügen können, Bergketten und Stöcke.

Die Hohlformen des Bodens.

Berge, Stöcke, Gebirgsketten haben wir als die Formen kennen gelernt, durch welche sich das Gebirge aufbaut. Wenn auch im einzelnen mannigfache Abweichungen auftreten, so ist doch, wie wir sehen, die Form eines Kegels und die eines dreiseitigen Prismas die vorwiegend den Gebirgsmassen zu Grunde liegende. Als nothwendige Folge hievon ergeben sich mehr oder weniger regelmäßig geformte Zwischenräume zwischen diesen Massen, Vertiefungen in denselben, die das Aussehen des Gebirges wesentlich mit bedingen. v. Sonklar hat sie passend mit dem Kollektivnamen „hohle Formen des Bodens“ bezeichnet und in zwei Abtheilungen gebracht, Landbecken und Thäler. Die ersteren umfassen die weiten Zwischenräume und Vertiefungen zwischen den verschiedenen Gebirgen selbst, während die letzteren alle in den Gebirgen sich findenden Lücken zwischen den Bergen, ebenso auch die in den Bergen selbst entstandenen Vertiefungen einbegreifen, die in so außerordentlicher Mannigfaltigkeit das, was wir als die Skulptur des Gebirges bezeichnen können, bedingen.

Die wichtigsten Formen dieser letzten Abtheilung, mit der wir es in den Alpen allein zu thun haben, an die sich zugleich die interessantesten Fragen der physischen Geographie knüpfen, sind die eigentlich so genannten Thäler, die Seebecken, Firnmulden, die Schluchten, Klammen, Runsen, Tobel und andere in verschiedenen Gegenden der Alpen mit verschiedenen Namen belegten Vertiefungen des Bodens. Wer einmal nur das Hochgebirge besuchte und die gewaltigen Blöcke angestaunt, welche in den oberen Theilen des Rinnsales der Flüsse und Bäche, offenbar von dem Wasser abgerundet und fortgewälzt, momentan ruhig daliegen oder von Ferne die fächerartig sich ausbreitenden Schuttmassen betrachtete, welche von den Felsenzinnen der Thalwände durch die Waldregion bis in die Felder und Wiesen herab sich erstrecken, der wird sich sofort selbst

sagen, daß die Hohlformen des Bodens, Thäler und Schluchten, wie alle übrigen einer unablässigen Veränderung unterworfen sind und solange Wasser schon hier floß, unterworfen waren. Die jetzige Form der Berge und die jetzige Gestalt der Thäler steht daher auch in einem nahen genetischen Zusammenhange. Beide verändern sich gleichzeitig. Die Frage nach ihrer ursprünglichen Gestalt ist eine der wichtigsten, aber auch zugleich der schwierigsten Fragen der Geologie, die wir später sowohl für die Berge wie für die Thäler noch näher zu erörtern haben werden. Ehe das aber geschehen kann, ist es nöthig, die Form- und Strukturverhältnisse beider genauer ins Auge zu fassen, und beginnen wir auch hier mit dem einfachsten, den Formen der Berge.

Die räumlichen Verhältnisse der Berge.

An jedem freistehenden Berge können wir einen untersten Theil, den Fuß oder die Basis, den mittleren, Rumpf oder Körper, den obersten, den Gipfel oder die Spitze unterscheiden. Wir haben schon oben S. 18 erwähnt, daß eine scharfe Abgrenzung der einzelnen Berge in den Gebirgen selten stattfinde, daß sie mit ihrem Fuße, ja selbst mit ihrem Rumpfe untereinander verwachsen und daß so allmälige Uebergänge von Bergen in die beiden andern Grundformen des Gebirgsbaues, Kette und Stock, stattfinden. Doch findet sich auch bei letzteren, wenigstens hie und da ein oder der andere Gipfel noch frei entwickelt, wie bei dem einzelnen Berge. Dem Volumen nach der kleinste, ist er doch der am meisten in die Augen fallende und eigenthümlichste, am meisten individuellen Charakter zeigende Theil der Berge, das Stück, dessen Gestalt sich am leichtesten einprägt und auch in einfachen Umrissen die verschiedenen Berge unterscheiden und erkennen läßt. Er erscheint immer als ein mehr oder weniger regelmäßiger Kegel oder auch als eine Pyramide, bald etwas abgestumpft, bald abgerundet, hie



Fig. 3.

und da auch in eine Schneide zugeschärft. Daß namentlich in den Alpen der Gipfel oft sehr spitz zuläuft, das geben schon die in allen Theilen des Gebirges wiederkehrenden Namen Horn, Spitze, (Pitz) Aiguille, Dent zu erkennen. Im ganzen Alpengebirge möchte sich kaum irgendwo eine so spitze Form finden, wie die hier (Fig. 3) abgebildete des Matterhornes oder Mont Cervin, dessen Gestalt selbst von jedem Gedanken es zu besteigen abzuschrecken scheint, das aber dennoch neuerdings ziemlich oft bestiegen wurde, nachdem der erste gelungene Versuch mit dem Tode eines Führers und dreier Engländer einen traurigen Abschluß gefunden hatte.



Fig. 4.

Nicht selten ist der Gipfel eines Berges gespalten und durch eine schmälere oder breitere Scharte in Hörner getheilt. Sehr schön zeigt dies der Gipfel des Watzmann und des Großglockner, dessen Gipfelansicht nach der Zeichnung A. v. Schlagintweit's obige Figur 4 veranschaulicht.

Eben so verschieden wie die Form der Gipfel ist auch die Neigung ihrer Wände. Sie steht in keinem Zusammenhange mit der Höhe des Berges, wenn schon im allgemeinen an niedrigen Bergen nicht leicht so steile Neigungen vorkommen, wie an den höchsten. Aber der höchste Gipfel der

Alpen, der Mont Blanc selbst, steht hinsichtlich seiner Steilheit einer großen Anzahl selbst niedriger Gipfel weit nach. Nur nach Süden hin hat er schroff abfallende Wände, und auch diese nur in 2 gewaltigen Schluchten, welche zum größten Theil von den beiden Gletschern du Brouillard und du Fresnay ausgefüllt sind.

An der steilsten Stelle beträgt sie doch nicht mehr als 57°, indem von dem sog. Mont Blanc du Courmayeur einer etwas südlich vom höchsten Gipfel gelegenen Erhebung (C in der Fig. 2) der Abfall auf 730 m. horizontale Entfernung (bis b der Figur) 900 m. beträgt oder 1,4 Fuß auf 1 Fuß horizontaler Entfernung. Nach Osten und Westen dagegen beträgt der Abfall nur 28—30°. Noch etwas steilere Neigungen zeigen der Mont Maudit, (M) die Aiguille du Midi und die Aiguille du Dru, (Dr) alle 3 nordöstlich vom höchsten Gipfel gelegen, nämlich die beiden ersteren 1240 m. auf 800—919 auf 600, beide gegen den Glacier des Bossons, die letzte 980 auf 600 m. in ihrem Abfalle gegen den Glacier de la Charpoua. Es entsprechen diese Zahlen für die beiden ersteren ziemlich genau den Verhältnissen 1,5 auf 1, und 1,6 auf 1 für die Aiguille du Dru; das letztere Verhältniß gibt einen Winkel von 58° (57° 59′). Steilere Neigungen ausgedehnterer Parthien oder etwas höherer Wände kommen an dem Mont Blanc nicht vor, wenngleich einzelne Stellen solcher Wände, oder einzelne nadelförmig hervorstehende Felsenmassen selbst senkrechte Abstürze erkennen lassen. Gerade die obersten Enden solcher isolirten Nadeln sind oft durch die Verwitterung stark zugespitzt; doch täuscht das Auge außerordentlich hinsichtlich der Neigungsverhältnisse, und eine genaue Messung gibt oft ein ganz unerwartetes Resultat. So fällt das Matterhorn nach Nordwesten und Ost-Südost (rechts und links der Abbildung pag. 26) nach den Messungen von A. v. Schlagintweit unter 50° und 55° ab.

Bedeutend steilere Neigungen zeigen die beiden höchsten Kuppen des Monte Rosa nach Süden, aber ebenfalls nur auf kurze Strecken. Nach den Messungen des eben genannten Naturforschers zeigt die höchste Spitze 14284 Par. F. (4640 m.) hoch im oberen Drittel der Abdachung nach Norden 69—70°, im untern Theil bis zum Sattel, der 346 F. unter derselben liegt 61—63°, gegen Süden zu oberst 58—59°, im untern Drittel 70—72°, das Nordende nur gegen Süden auf sehr kurze Strecke unmittelbar am Gipfel 68°, außerdem nur Neigungen zwischen 12 und 47°.

Aus den Berner Alpen gibt derselbe folgende Neigungsverhältnisse: Das Finsteraarhorn in seinen beiden steilsten zum Finsteraargletscher und Vinschergletscher sich herabsenkenden Wänden nordöstliche Abdachung 65°, südwestlich 56°. — Das Schreckhorn nach Nordwest und Südost 44—45°, dagegen gegen Nordost und Südwest 62—63°. Gipfel des Wetterhornes, Nord- und Südseite 45 und 50°. Jungfrau nach Nordwest und Südost 52—53°. Die steilsten Abhänge von Eiger und Mönch, des erstern nach Norden, des zweiten nach Nordwest geben 60 und 63°. Die niedrigeren Voralpen haben zwar im allgemeinen eine etwas geringere Neigung, doch kommen auch bei ihnen so steil ansteigende Wände vor, wie sie überhaupt sich finden. So zeigt der große Mythen 5858 Par. F. (1903 m.) hoch an seiner südwestlichen Abdachung eine Neigung von 74°. Das Stockhorn 6767 F. (2198 m.) nach Nordwest wie nach Südost 65—70°. Die Neigung der ersten Spitze des Großglockners (Figur 4. Seite 27) zur sogen. Adlersruhe ist nach den Messungen der Gebrüder Schlagintweit im Mittel 28°, an den steilsten Stellen 49°, während die zweite Spitze zur Scharte zwischen den beiden Spitzen unter 39° abfällt.

Größere Dimensionen in horizontaler Richtung läßt der eigentliche Körper oder Rumpf des Berges erkennen. Auch

bei den höchsten Bergen ist er noch größtentheils von Vegetation bedeckt, die Schneemassen, welche die Gipfel der höheren Berge, wenn ihre Neigung nicht 40° übersteigt, bedecken, wie das nackte kahle Gestein sind hier verschwunden oder ziehen sich nur in einzelnen Streifen weiter über den Rumpf herab, auch die Neigung ist eine viel geringere. Nur ausnahmsweise finden sich noch jähe Abhänge oder Abstürze, aber häufig durchziehen noch tiefere Einschnitte und Schluchten diesen Theil des Berges, durch die Thätigkeit des Wassers nach unten hin erweitert, von schäumenden Wildbächen durchfurcht oder auch an den höchsten Bergen von Gletschern ausgefüllt, welche sich oft bis an den Fuß des Berges herabziehen. Seltener zeigt sich der Rumpf des Berges vollkommen gespalten durch eine Kluft, in welcher die Natur dann nur dem Wasser einen beschwerlichen mühsam erkämpften Weg freigelassen, dem nur selten Steige der menschlichen Kunst zu folgen vermögen.

Als die bekanntesten Beispiele können wir die Taminaschlucht bei Pfäffers, die Via mala und die mancherlei sog. Klammen, bei Partenkirchen, die Dornauberger Klamm im Zemmgrunde anführen, die alle zu den gewaltigsten Naturerscheinungen gehören, welche das Hochgebirge vor anderen Gegenden voraus hat.

Je nach dem Grade der Neigung der Bergwände gebraucht man verschiedene Namen für dieselben. Nach v. Sonklar hat

eine Lehne	einen	Winkel	von	0—15°
ein Hang	„	„	„	15—25°
ein Absturz	„	„	„	25—45°
eine Wand	„	„	„	45—90°.

Ist die Neigung eine geringere, so sammelt sich auch auf dem Rumpfe des Berges nicht selten eine größere Masse der durch die Verwitterung von dem Gipfel herabgestürzten

Trümmer an. Die Beschaffenheit des Gesteines ist dabei natürlich von großem Einflusse, da diese die Gestalt, Größe und Festigkeit der Trümmer wesentlich bedingt. Schiefrige, dünngeschichtete Gesteine werden z. B. keine großen Felstrümmer, wohl aber gewaltige Schuttmassen liefern, die Form und Ausbreitung solcher Schutthalden läßt so den Kundigen auf große Entfernungen hin Schlüsse über die Beschaffenheit der Gipfel-Gesteine ziehen, die selten beim Annähern an dieselben als irrig sich herausstellen dürften.

Der unterste Theil des Berges, der Fuß desselben ist die untere Grenzregion gegen die Ebene oder das Thal hin. Sowohl nach oben wie nach unten hin ist die Grenzlinie nicht immer genau anzugeben. Wo fließendes oder stehendes Gewässer einen Berg umgibt, ist die untere Grenze allerdings scharf bestimmt, wo aber der Berg allmälig in eine Ebene übergeht, ist jenes nicht möglich. Da kein Gestein der Verwitterung widersteht, stets Fragmente von oben nach unten gelangen, so ist der Fuß aller Berge von Trümmer-, Schutt- und Geröllmassen umgeben. Nur da sehen wir sie nicht, wo die herabgeführten Massen vom Wasser bedeckt werden, wenn ein Berg unmittelbar und steil in einen See abfällt. Daher ist die Neigung des Bodens am Fuß der Berge auch meist wieder geringer, als die des Rumpfes, so daß auch durch die Neigungsverhältnisse diese 3 Theile des Berges sich wohl von einander unterschieden zeigen.

Die Höhe der Berge. Absolute und relative Höhe.

Als Ausgangspunkt für die Bestimmung aller Höhen dient bekanntlich der Meeresspiegel. Dieser muß ebenfalls insofern seiner Lage nach erst bestimmt werden, als der Stand desselben an allen Meeren kein unveränderlicher ist, sondern Schwankungen unterworfen, die von Ebbe und Flut, von der Richtung der Winde und dem Stande des Baro-

meters abhängen. Es ist daher auch eine längere Beobachtung dieser Schwankungen erforderlich, um diesen idealen Meeresspiegel, auf den alle Höhenmessungen bezogen werden, bestimmen zu können. Diejenige Höhe nun, welche irgend ein Punkt der Erdoberfläche über diesem idealen Meeresspiegel erkennen läßt, nennt man seine absolute Höhe, auch Meereshöhe. Von ihr verschieden ist die sog. relative Höhe, d. h. der Unterschied der Meereshöhen zweier Punkte. Bei den Bergen versteht man darunter in der Regel die Höhe des Berges über der Basis, von welcher er sich erhebt. Sie ist von dem wesentlichsten Einflusse auf den Eindruck, den wir von einem Berge bekommen. Man könnte sie auch die scheinbare Höhe des Berges nennen. Bei gleicher absoluter Höhe können 2 Berge sehr verschieden hoch erscheinen, ja absolut höhere Berge erscheinen oft viel niedriger als in der That niedrigere. So sind die hohen Gipfel der Anden über dem Meere zwar 19000—21000 F., aber sie erheben sich auf Plateaus, die selbst schon zwischen 9000—12990 F. über dem Meere liegen, ihre relative Höhe vom Gipfel bis zu ihrem Fuße beträgt daher nur 9000—11000 F., während z. B. der Mont Blanc von seinem Fuße bei der Vereinigung der Arve und des Von Nant bis zum Gipfel eine Höhe von 13200 F. hat. Seine relative Höhe ist daher eben so hoch wie die der fast doppelt so hohen asiatischen Riesenberge über Tübet, welches ein 12000—14000 F. hohes Plateauland darstellt, über das die höchsten Gipfel demnach ebenfalls nur 12000—14000 F. hoch aufsteigen. Es erscheinen demnach die Berge nirgends höher, als die höchsten Gipfel unserer Alpen.

Reihen wir ihrer Höhe nach die bis jetzt gemessenen Gipfel der Alpen aneinander, so erhalten wir folgende Tabelle, in der die über 13000 Fuß hohen Gipfel alle aufgenommen sind. Die Höhen sind in Pariser Fuß und Meter angegeben; W. bedeutet Westalpen, C. Mittelalpen, O. Ostalpen.

Ueber 14000 Par. F. (4548 m.).

C. Mont Blanc.

Höchste Spitze . . 14809 (4810)
C. Mont Maudit 14698 (4771)
Mont Blanc
du Cour Mayeur 14652 (4756)

C. Monte Rosa.

Höchste Spitze . . 14284 (4640)
Zumsteinspitze . . 14160 (4600)
Nordende 14153 (4597)
Signalkuppe . . . 14044 (4562)

C. Mischabelhörner.

Täschhorn 14050 (4564)
Grabhorn (Dom) 14030 (4557)

Ueber 13000 Par. F. (4223 m.).

Am Mont Blanc.

Dôme du Gouté . 13295 (4331)
du Tacul 13078 (4249)

Am Monte Rosa.

Parrotspitze . . . 13668 (4440)
Schwarzhorn . . . 13220 (4295)
Ludwigshöhe . . . 13350 (4337)
Balmenhorn . . . 13070 (4245)
Vincentpyramide. 13003 (4224)
Lyskamm 13970 (4538)
Weißhorn 13890 (4513)
Matterhorn . . . 13797 (4482)
Dent Blanche . . 13434 (4364)
Grd. Combin . . 13291 (4317)
Finsteraarhorn . . 13160 (4275)
Rothhorn 13000 (4223)
Zwillinge 13021 (4230)

Ueber 12000 Par. F. (3898 m.).

In den Alpen von Oisans. W.

Mont Ollan . . . 12973 (4215)
Ecruis 12424 (4038)
Grd. Pelvoux . . 12070 (3923)

Am Mont Blanc.

Aigll. du Géant . 12640 (4110)
Grandes Jorasses 12638 (4106)
Aigll. verte 12703 (4127)
Aigll. de Bionnassay 12498 (4061)
les Droites . . . 12400 (4030)
Aigll. de Rochefort 12319 (4003)
de Trélatète . . . 12098 (3932)
d'Argentière . . . 12003 (3901)

Aus den Pennin. Alpen.

Dent d'Hérens . 12866 (4180)
Grd. Cornùs . . 12212 (3969)

Aus den Berner Alpen.

Aletschhorn 12914 (4198)
Mönch 12632 (4104)
Jungfrau 12817 (4164)
Schreckhorn . . . 12550 (4080)
Eiger 12234 (3975)
Viescherhörner . . 12457 (4048)
M. Ortler 12004 (3891)

Ueber 11000 Par. F. (3574 m.).

Monte Viso . . . 11827 (3841)
Mont Cenis . . . 11058 (3593)
Wetterhorn 11450 (3708)
Tödi 11150 (3623)
Galenstock 11073 (3596)
Oez. Wildspitze . . 11625 (3776)
Similaun 11090 (3603)
Tauern
Großglockner . 11714 (3804)
Venediger 11307 (3676)

Ueber 10000 Par. F. (3248 m.).

Eine große Zahl von Hörnern und Gipfeln der West-, Mittel- und Ostalpen gehört hieher, selbst einige Gebirgspässe erreichen schon diese Höhe, z. B. der Col du Géant 10546, das Wetterjoch 10042 Par. F.

Von den bekannteren als Aussichtspunkte öfter bestiegenen niedrigeren Bergen führen wir folgende an:

	Par. F.	m.		Par. F.	m.
Aeggischhorn . . .	9036	(2941)	Rigi	5530	(1800)
Fibbia	8429	(2742)	Watzmann.	8300	(2700)
Faulhorn	8245	(2683)	Hohe Salve. . . .	5624	(1830)
Sidelhorn	8856	(2880)	Hoher Peißenberg	3045	(992)
Säntis	7702	(2504)	Schafberg	5500	(1790)
Pilatus	6530	(2123)			

Aus diesen Zahlen, wie auch aus der S. 13 gegebenen Uebersicht ergibt sich, daß die Höhe des Gebirges in den Mittelalpen am bedeutendsten ist und nach den Westalpen wie nach den Ostalpen abnimmt. Jedoch ergibt sich hier der wesentliche Unterschied, daß die ungleich breiteren Ostalpen im Durchschnitt eine beträchtlich geringere Höhe besitzen, als die Westalpen. Kein Gipfel der Ostalpen erreicht auch nur die Höhe von 12000 Fuß, während wenn wir auch den Mont Blanc noch zu den Mittelalpen zählen, die Westalpen eine Reihe von Gipfeln über 12 und selbst 13000 Fuß aufweisen. Ebenso ergibt sich, daß die höchsten Gipfel in den 3 großen Abtheilungen den Centralalpen angehören, während die nördliche wie die südliche Nebenzone stets an Höhe gegen die ihr benachbarte innere Centralmasse zurücksteht.

Räumliche Verhältnisse der Bergketten.

Die wichtigste und der Ausdehnung nach auch die bedeutendste Grundform des Alpengebirges sind die Bergketten, deren wesentlichste Verhältnisse wir schon S. 18 erörtert haben.

Als eine Kette können wir eine Gebirgsmasse bezeichnen, welche sowohl äußerlich eine mit der Basis und dem Rumpfe zusammenhängende Reihe von Bergen darstellt, als auch ihrer inneren Zusammensetzung nach sich als eine einheitliche Masse zu erkennen gibt, und mehr oder weniger ein mit einer Grundfläche aufliegendes dreiseitiges Prisma darstellt. Wenn diese Form vorwiegend in einem Gebirge ausgebildet ist, so nennen wir dasselbe ein Kettengebirge. Unsere Alpen gehören entschieden zu dieser Klasse von Gebirgen. Die Art und Weise der Vertheilung und gegenseitigen Lagerung dieser Ketten in einem Gebirge ist von dem größten Einflusse auf dessen eigenthümlichen Charakter.

Was die räumlichen Verhältnisse einer Kette betrifft, so kommt hiebei zunächst in Betracht ihre Länge, ihre Höhe und Breite, so wie die Einschnitte, die sich in derselben befinden. Ueber die Länge einer Kette läßt sich im Allgemeinen nichts Bestimmtes aussagen; während die Hauptketten oft eine sehr bedeutende Länge haben, sind die Nebenketten meist nur wenige Meilen lang. In manchen Fällen ist es auch nicht ganz sicher, die Grenze einer Kette genau zu bestimmen. Die mächtigsten Höhen der Alpen finden sich in den beiden sehr wohl ausgeprägten Ketten auf dem rechten und linken Rhoneufer. Von der Rhone bei Martigny zieht die Kette der Berner Alpen ununterbrochen wie eine gewaltige, wenn auch schartige Mauer bis zur Grimsel und südlich der Rhone verläuft eine ähnliche noch höhere, die Penninischen Alpen vom Gr. St. Bernhard bis zum Lago Maggiore, beide ziemlich gleich in gerader Linie 15 g. Meilen lang. Bei der ersteren kann man zweifelhaft sein, ob man sie schon mit der Grimsel abschließen will, oder ob man sie nicht bis zur Reuß oder selbst noch durch die Glarner Alpen bis zur Umbiegung des Rheines nach Norden sich fortgesetzt denken will. Eine ähnliche Länge haben in den Ostalpen die Tauern (nach

v. Sonklar 13 g. Meilen); auch in den Nebenzonen finden sich noch lange Ketten, wenn auch nicht so lang wie die der Centralalpen ausgebildet.

Die Höhen der verschieden Ketten sind ebenso verschieden, wie ihre Längen, ja selbst an ein und derselben Kette wechselt die Höhe oft außerordentlich rasch und stark, indem dieselben bald hoch aufsteigende Spitzen, bald tief einschneidende Sättel, die natürlichen Verbindungswege zwischen den beiden Seiten der Kette, erkennen lassen. Als Kammlinie wird diejenige Linie bezeichnet, welche stets durch den höchsten Punkt eines jeden Querschnittes der Kette hindurchgeht, sie bildet zugleich die Wasserscheide jeder einzelnen Kette. Im Allgemeinen bietet jede Kammlinie eine vielfach auf- und absteigende krumme Linie dar, deren Form jeder einzelnen Bergkette ihren eigenthümlichen Umriß und Charakter verleiht. Ihre Gestalt ist bedingt durch die Beschaffenheit und Lagerungsverhältnisse des Gesteines einerseits und durch die formenden und umgestaltenden Kräfte der Erde, des Wassers und der Luft andrerseits und ebensosehr dem Wechsel im Laufe der Zeiten unterworfen wie der Umriß eines menschlichen Angesichtes, wenn auch nur selten der gegenüber den Bergen kurz lebende Mensch solche Veränderungen wahrzunehmen im Stande ist.

Das Gesammtbild der Einbiegungen oder Vertiefungen der Kammlinie hat man passend als „Schartung" bezeichnet, weil bei einer Bergkette dieselben ausschließlich oder jedenfalls größtentheils durch Wegnahme des Gesteines, durch Losbröcklung und Abtragung desselben entstanden sind. Denn wenn auch schon bei der Entstehung jeder Kette die Kammlinie derselben mannigfache Einbiegungen gezeigt haben mag, so sind dieselben jedenfalls viel geringer gewesen als jetzt, indem die Verwitterung im Laufe der Zeiten nothwendig die vorhandenen Vertiefungen immer mehr und mehr aushöhlen und

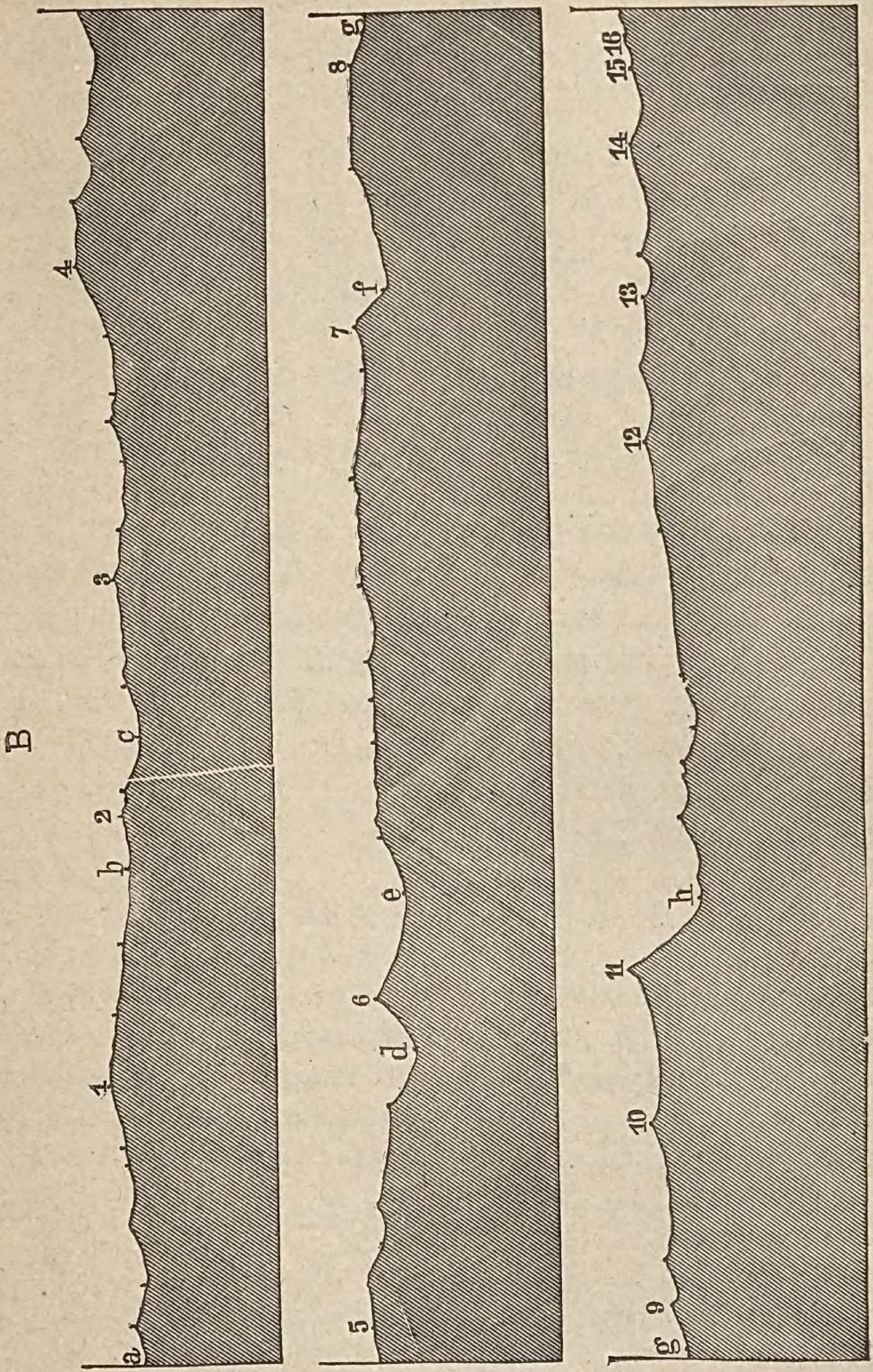


Fig. 5.

neue erzeugen mußte, wo die Beschaffenheit des Gesteines dem Angriffe der Atmosphärilien geringeren Widerstand leistete oder günstigere Punkte für die Zerstörung darbot.

Ohne Rücksicht auf die Höhe oder die Form der Einbiegungen hat man sie alle mit dem gemeinschaftlichen Namen „Sattel" bezeichnet. Ist die Höhe einer Bergkette und ihres Sattels bedeutend, wie meist im eigentlichen Hochgebirge, so nennt man sie „Joch" und wenn sie soweit herabreicht, daß sie als Uebergangspunkt über die Kette dient, Paß. Ist die Einbiegung schmal und steilwandig in einen felsigen Kamm eingeschnitten, so wird sie als „Scharte" bezeichnet.

Wir geben vorstehend in Fig. 5 die Kammlinie der Penninischen Alpen vom Gr. St. Bernhard bis zum Monte Rosa, wobei aber alle Krümmungen und Biegungen geradlinig aufgezeichnet sind. Die mit 1 2 3... bezeichneten Gipfel sind von West nach Ost geordnet, die tiefsten Sattelpunkte sind mit a b c... bezeichnet. Wir bezeichnen hier nur die wichtigsten mit Zahlen und Namen und zwar in ihrer natürlichen Folge von Westen nach Osten.

a	Col Ferret	2492 m.	8	Dents de Bertol . .	3783 m.
1	le Grd. Golliaz . .	3240 „	g	Col des Bouquetins	3418 „
b	Col de Fenêtre . . .	2699 „	9	Tête blanche	3750 „
2	P. Dronaz	2949 „	10	Dent d' Hérens . .	4180 „
c	Hosp. St. Bernhard	2472 „	11	Matterhorn	4482 „
3	P. de Barasson . .	2961 „	h	Matterjoch	3322 „
4	M. Velan	3765 „	12	Breithorn	4471 „
5	Aigll. Vertes	3600 „	13	Zwillinge	4094 „ 4230 „
d	Col de Fenêtre . . .	2786 „	14	Lyskamm	4538 „
6	Mt Gelé	3517 „	15	Vincentpyramide . .	4324 „
e	Col. de Crête sèche	2888 „	16	Dufourspitze	4638 „
7	Mt. Colon	3738 „			
f	Col de Colon	3130 „			

Es folgen dann noch im Kamme außerhalb der Zeichnung:

Nordende	4612 m.	Ofenthalpaß	2838 m.
Alt-Weißthor......	3576 „	Sonnighorn	3492 „
Cima di Jazzi	3818 „	Zwischbergenpaß	3272 „
Weißthor........	3612 „	Weißmies........	4031 „
Mte. Moro	2988 „	Fletschhorn	4016 „
Paß M. Moro.....	2862 „	Simplonpaß	2010 „
Spahnhorn.......	3194 „		

Ausmaß der Bergketten. Orometrie.

Kennt man von einem Gebirge hinlänglich genau die Höhen der Gipfel und Sättel, so kann man daraus die Kammlinie genau aufzeichnen und ebenso durch Berechnung diejenigen Elemente finden, welche für die vergleichende Geographie von der größten Wichtigkeit sind, indem sie uns gestatten in wenigen Zahlen die eigenthümlichen Verhältnisse jedes Gebirges genau auszudrücken.

Man hat diese, gewisse Mittelwerthe darstellenden Zahlen und Verhältnisse mit bestimmten Namen bezeichnet und den Theil der Orographie, welcher sich mit der Ermittlung derselben befaßt, Orometrie genannt. Diese hat folgende Aufgabe zu lösen:

1. Die mittlere Gipfelhöhe einer Kette oder eines ganzen Gebirges zu finden. Es geschieht dies einfach in der Weise, daß man die Zahlen der Höhen aller bekannten Gipfel addirt und mit der Anzahl derselben die gefundene Summe dividirt; der Quotient gibt die sogen. mittlere Gipfelhöhe. 2. Ganz in derselben Weise erhält man aus den bekannten Höhen für die Sättel die mittlere Sattelhöhe. 3. Nimmt man das Mittel aus der berechneten mittleren Gipfelhöhe und der mittleren Sattelhöhe, so gibt diese Zahl die sog. mittlere Kammhöhe, d. h. diejenige Höhe, welche der Rücken des

Gebirges haben würde, wenn wir uns alle Gipfel abgetragen und zur Ausfüllung der Sättel verwendet dächten, so daß dann das Gebirge ein dreiseitiges liegendes Prisma mit horizontaler oberer Kante bilden würde. Während nun mittlere Gipfelhöhe und mittlere Sattelhöhe lediglich aus Höhenmessungen genau bestimmt werden können, ist dies bei der mittleren Kammhöhe nicht der Fall. Wir erhalten offenbar nur dann eine richtige Zahl für die letztere aus den beiden ersteren, wenn die Form der Sättel genau der Form der Gipfel entspricht, wenn also die wirkliche Kammlinie folgende Gestalt hat. Wo dieses nicht zutrifft, wo entweder die Berg-

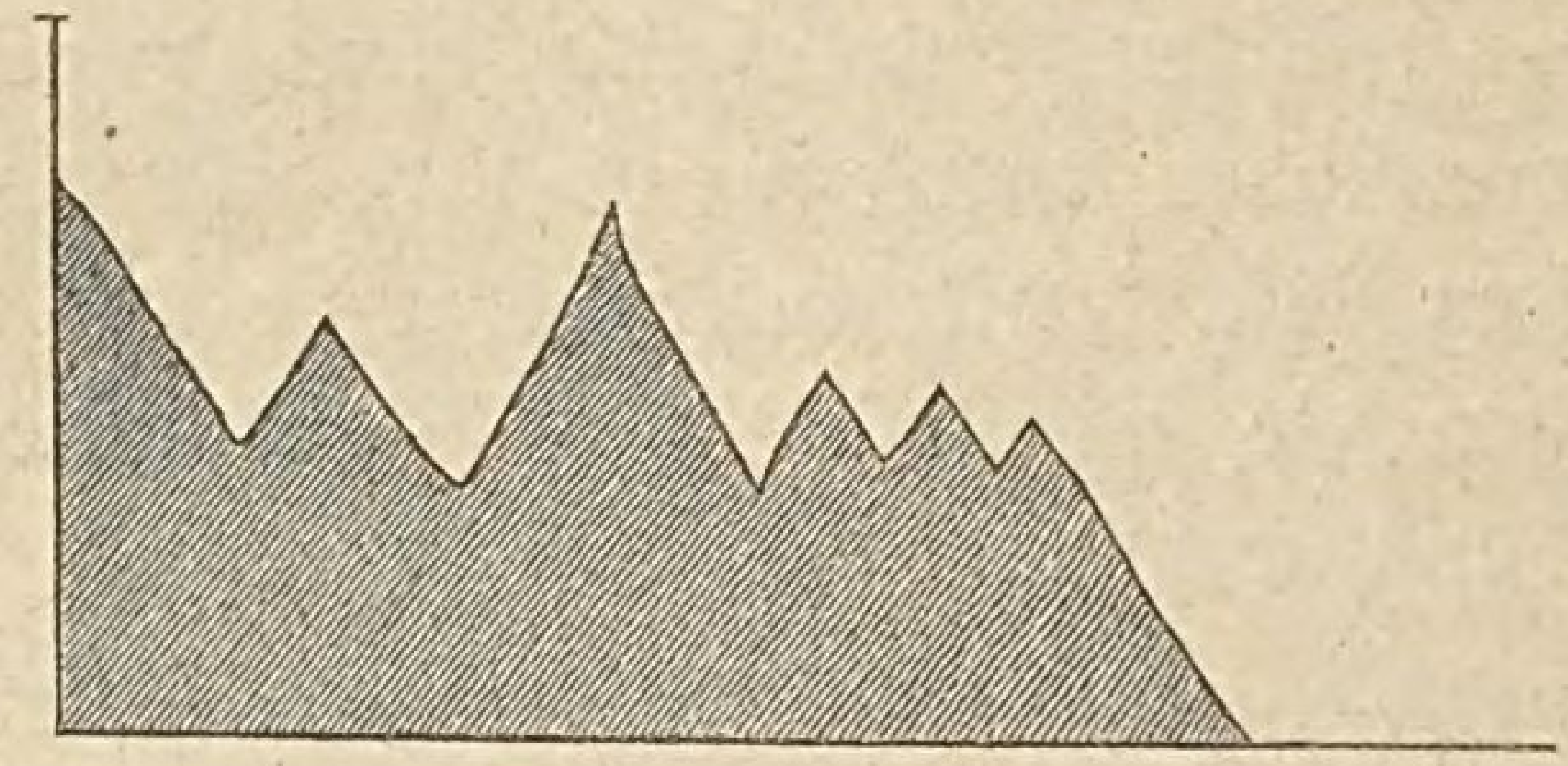


Fig. 6.

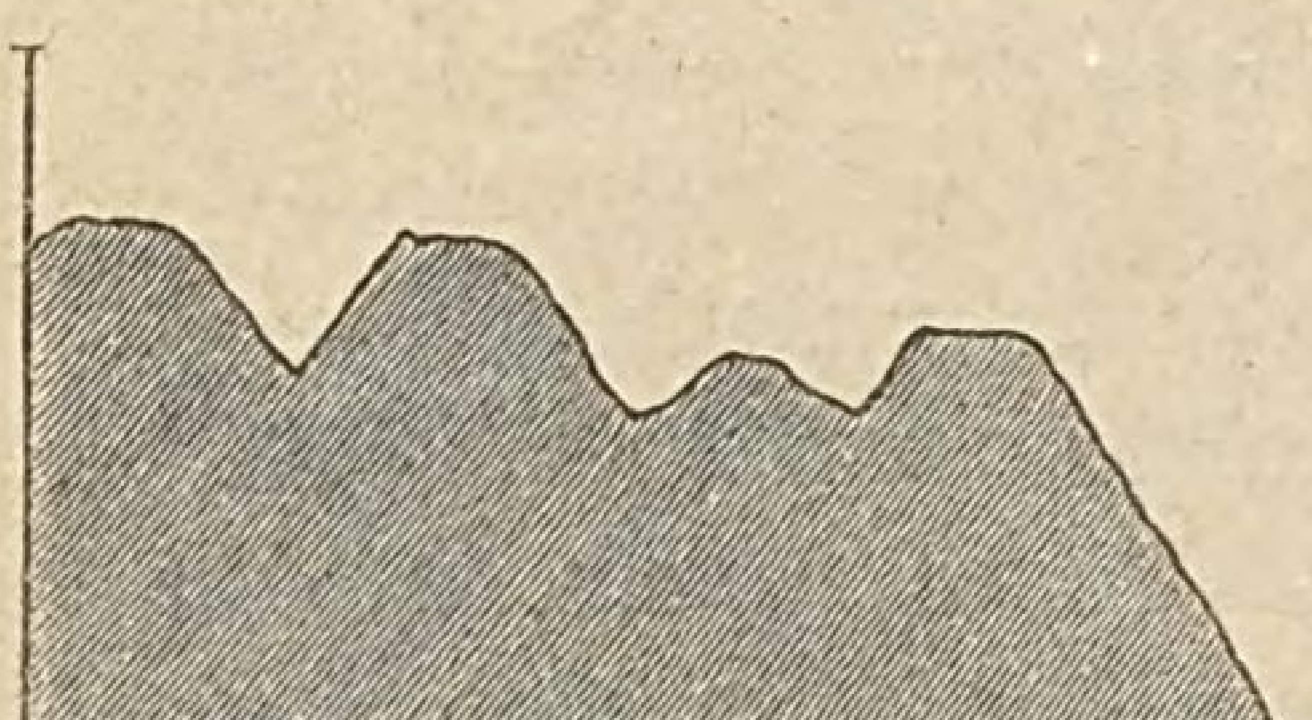


Fig. 7.



Fig. 8.

gipfel breiter als die Sättel wie in Fig. 7, oder die letzteren weiter als die Gipfel sind wie in Fig. 8, ist das Resultat ein entschieden falsches, in Fig. 7 wird die aus mittlerer Gipfel- und mittlerer Sattelhöhe gefundene mittlere Kammhöhe zu klein,

im letzteren Falle Fig. 8 zu groß sein. Ein richtiges Resultat werden wir nur dann erhalten, wenn wir die Kammlinie genau aufzeichnen oder mit Berücksichtigung der Form der Gipfel und Sättel die mittlere Kammhöhe berechnen.

4. Mittlere Schartung eines Gebirges nennt v. Sonklar den Unterschied zwischen der mittleren Gipfel- und mittleren Sattelhöhe. Es ist dies für die vergleichende Orographie ein höchst wichtiges Element, indem daraus sofort der Grad der Zerrissenheit eines Gebirgskammes aufs deutlichste in die Augen springt.

Kennen wir auch noch die Neigungsverhältnisse der Gebirgsketten und die Höhenverhältnisse der die Kette begrenzenden Thäler, so sind wir dadurch in den Stand gesetzt, auch die übrigen räumlichen Verhältnisse derselben zu berechnen. Bisher haben wir leider nur von einer sehr geringen Anzahl von Gebirgen hinreichende Höhenangaben, um diese mittleren Werthe zu berechnen. Namentlich fehlen uns, was schon v. Sonklar beklagt und worauf er mit Recht die Aufmerksamkeit aller derer hinlenkt, welche Messungen in den Alpen vornehmen können, Angaben über die Sattelhöhen. Während die meisten Gipfel wiederholt gemessen sind, haben wir für Sättel äußerst wenig Angaben, nur die Pässe sind uns besser bekannt, aber deren Zahl reicht weitaus nicht hin, um die mittlere Sattelhöhe einer einzelnen Kette, geschweige die eines ganzen Gebirges wie die Alpen zu bestimmen, und alle Angaben über die mittlere Kamm- oder Sattelhöhe der gesammten Alpen sind deswegen ganz unzuverlässig. Vertrauen dagegen verdienen die von v. Sonklar ermittelten Werthe für eine Reihe von Ketten aus den Ostalpen. Wir theilen zunächst dieselben hier folgend tabellarisch mit, wie er sie in seiner allgemeinen Orographie aufgeführt hat, und fügen die für die Penninischen Alpen berechneten Werthe bei.

	Mittl. Kamm-höhe	Mittl. Schar-tung	Mittl. Gipfel-höhe	Mittl. Sattel-höhe	Verhältniß der Schartung zur Kammhöhe
1. Oetzthaler Gruppe . .	9515	680	9855	9175	1 : 14,0
2. Stubayer „ . .	8850	850	9275	8425	1 : 10,4
3. Zillerthaler Alpen . .	8465	762	8845	8082	1 : 10,9
4. Hohe Tauern	8620	740	8990	8250	1 : 11,6
5. Kleine Tauern	6420	710	6775	6065	1 : 9,0
6. Hochschwab-Gruppe .	4450	1445	5172	3728	1 : 3,0
7. Nordtirol. Kalkalpen	5820	1090	6365	5275	1 : 5,3
8. Südtirol. Dolomit-alpen	7100	1090	7645	6555	1 : 6,5
9. Penninische Alpen . .	10530	960	11008	10048	1 : 10,9

Die Schlüsse, welche v. Sonklar aus den 8 ersten Reihen gezogen, finden auch ihre Bestätigung durch die einem ganz anderen Theile des Alpengebirges entnommenen Werthe für 9, die wichtigste Kette der Westalpen. Die Schartung steht danach im umgekehrten Verhältnisse zur Höhe des Gebirges, d. h. sie ist absolut und relativ bei höheren Gebirgen kleiner und bei niedrigen Gebirgen größer. Sie ist ferner größer in den Kalkalpen, als in den Schiefergebirgen und ebenso stärker in den in ihren Strukturverhältnissen mehr gestörten äußeren Theilen der Alpen, als bei den inneren weniger gestörten Gruppen. Bei der noch so geringen Zahl derartiger Untersuchungen müssen wir es jedoch noch dahin gestellt sein lassen, ob sich dieses Gesetz der Schartung als ein allgemeines für das ganze Alpengebirge erweisen wird.

Zu den 4 eben besprochenen Elementen gehört noch eines, welches nöthig ist, wenn man auch die Masse der Bergketten, eines der wichtigsten Verhältnisse der Orometrie, berechnen will, nämlich die mittlere Neigung der Kämme, „das mittlere Gefälle der Kammgehänge“ (v. Sonklar). Es ist aber gerade dieses Verhältniß am allerschwierigsten zu

ermitteln, wenn man nicht an einer sehr großen Anzahl von Punkten sich einen genauen Querschnitt verschaffen kann. Die Neigungen sind ohnedies außerordentlich rasch wechselnd, an einem und demselben Querschnitt eines Berges am Gipfel, Rumpf und Fuß ungemein verschieden, ebenso äußerst ungleich an den verschiedenen Stellen einer Kette, je nachdem der Abfall von einem Gipfel oder einem Sattel aus bestimmt wird. Die letztere Ungleichheit läßt sich jedoch dadurch beseitigen, wenn man bei dem Ausmaße des mittleren Gefälles der Kammgehänge stets die mittlere Kammhöhe zu Grunde legt. Dadurch vereinfacht sich die Aufgabe außerordentlich und kann mit einer guten, gehörig viele Höhenangaben enthaltenden Karte gelöst werden.

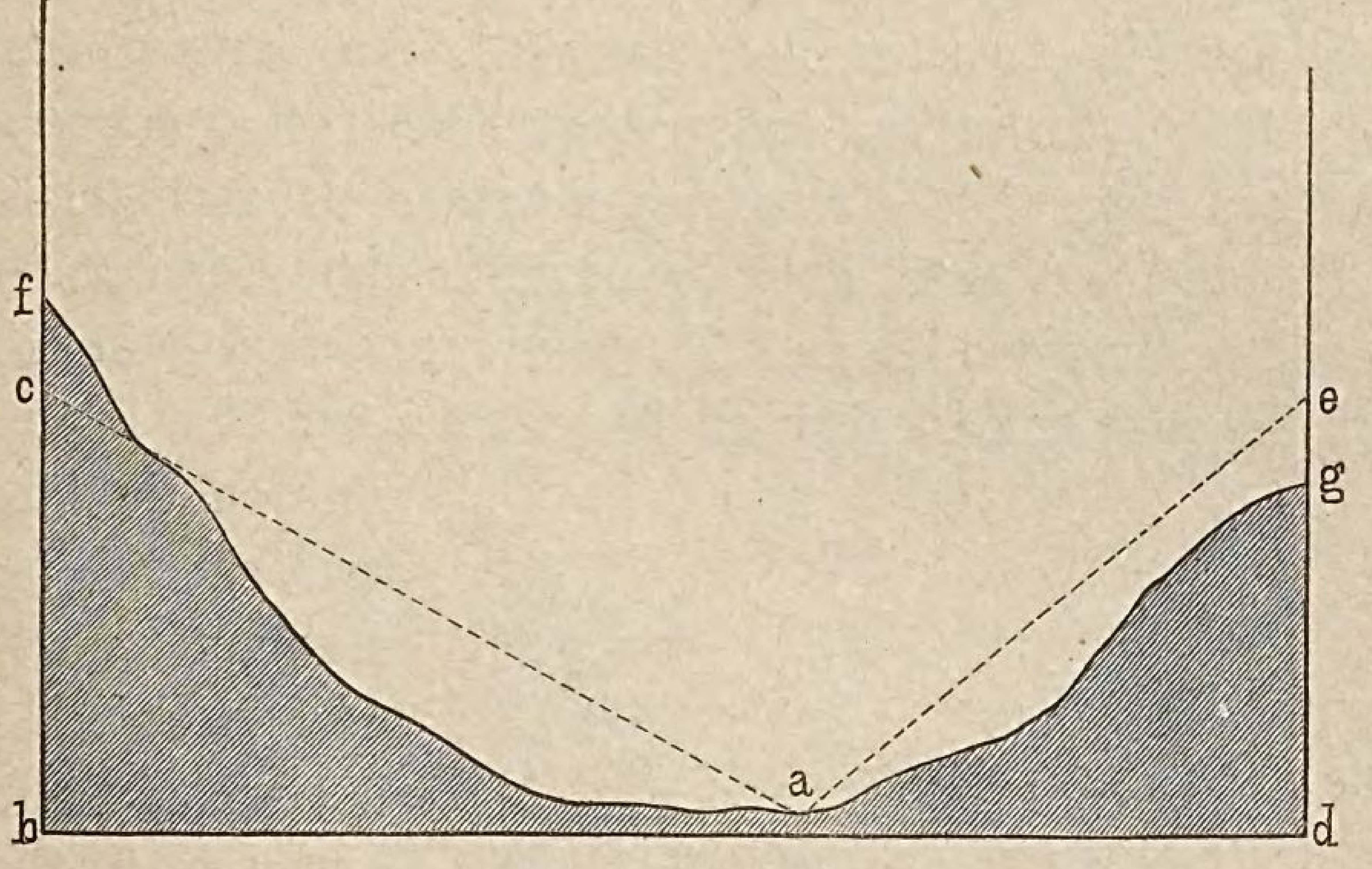


Fig. 9.

Es stelle z. B. Fig. 9 einen Durchschnitt durch 2 Ketten dar, der links durch einen Gipfel bei f gehe, rechts dagegen bei g durch einen Sattel. Als mittlere Kammhöhe habe sich für die linke Kette die Höhe b c, für die rechte d e, ergeben. Kennt man nun die Höhe vom Punkte a über dem Meeresspiegel, der durch b d dargestellt sein soll, und die horizon-

tale Entfernung ab und ad, die durch Messung auf einer guten Karte leicht gefunden werden kann, so ist das mittlere Gefälle, dargestellt durch die punktirten Linien ac und ae, sofort leicht zu berechnen.

Berechnet man in dieser Weise an einer größeren Anzahl von Stellen einer Bergkette diesen Winkel und zieht aus diesen das Mittel, so ergibt sich daraus eine Zahl, welche das mittlere Gefälle des ganzen Kammes angibt. Sie hat insofern Werth, als sie bei verschiedenen Kämmen im Allgemeinen einen Vergleich ihrer größeren oder geringeren Steilheit zuläßt, je nachdem der Winkel größer oder kleiner ist, gestattet aber durchaus keinen Schluß auf die wirklichen Neigungsverhältnisse, weil wir es hier stets mit Mittelwerthen zu thun haben, welche aus ungemein stark von einander abweichenden Einzelwerthen abgeleitet sind. Auf unserer vorigen Fig. z. B. ist der in der angegebenen Weise gefundene Mittelwerth der einen Stelle links sogar kleiner als rechts, obwohl die Neigung der natürlichen Bergwände entschieden steiler ist als auf der rechten Seite. Da fast ausnahmslos die wirklichen Neigungsverhältnisse an den Ketten der Art sind, daß sie oben am stärksten in der Mitte schwächer, unten am Fuße am geringsten sind, so ergibt sich daraus auch sofort, wie es unsere Figur erkennen läßt, daß derselbe mittlere Gefällwinkel a d g bei allen möglichen Neigungsverhältnissen der 3 Theile eines Berges vorkommen kann, von derselben Größe gefunden wird, ob die Bergwand die Form a b c d oder a e f d hat. Im

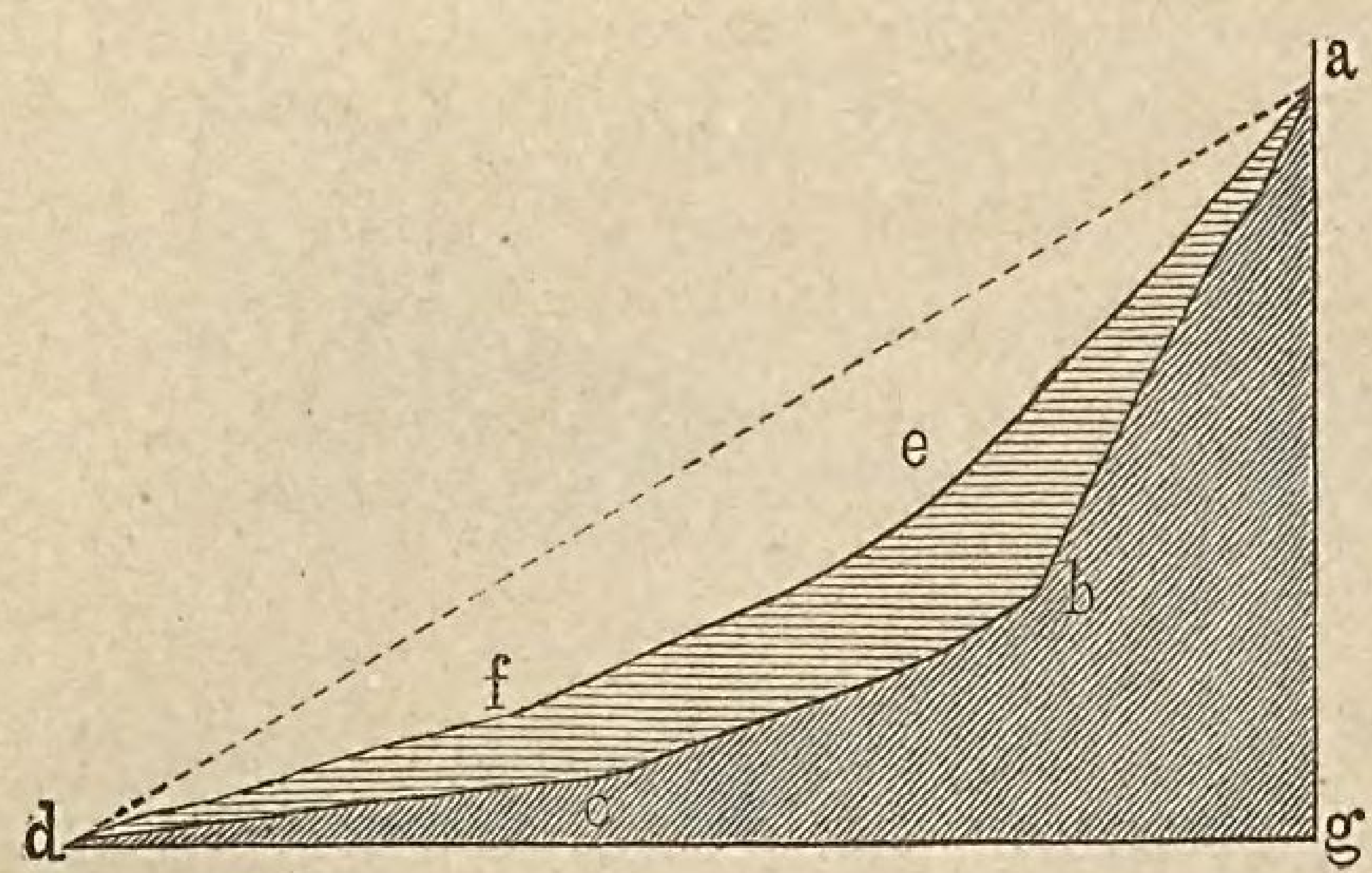


Fig. 10.

Allgemeinen wird er stets für die oberen Regionen zu klein, für die unteren Gegenden zu groß ausfallen. v. Sonklar hat für eine größere Anzahl von Ketten der Ostalpen das mittlere Gehänge bestimmt. Es ergibt sich daraus, daß die Neigungsverhältnisse der Bergwände im Allgemeinen durchaus nicht so bedeutend sind, als man sie gewöhnlich schätzt. Er macht darüber folgende Angaben. Als Mittel ergibt sich

für das Oetzthaler Gebirge	20° 17'
„ die Stubayer Gruppe	23° 42'
„ „ hohen Tauern	25° 31'
„ „ Zillerthaler Alpen	26° 13'
„ „ Hochschwab-Gruppe	17° 11'.

Aber selbst in ein und derselben Kette zeigen sich sehr bedeutende Abweichungen von diesem Mittelwerthe. In den hohen Tauern z. B. fällt der Sulzbachkamm östlich mit 44°, dagegen der Rathhausstock bei Gastein nur mit 19° ab.

Beträchtlich davon abweichend sind die von v. Schlagintweit gegebenen Mittelwerthe über die Neigungsverhältnisse der Bergwände der Thäler. Er gibt*) selbst für die Vorberge (5000—7000') an „die häufigste Neigung ihrer Abhänge von dem Fuße der Berge bis zu den Gipfeln hinauf ist 30°—35°". Diese Angaben beruhen auf Messungen in der Natur, lassen sich daher auch wohl kaum mit den von v. Sonklar durch Messungen an der Karte gefundenen vergleichen. Die Zuverlässigkeit der Karte vorausgesetzt, müssen die letzteren den gesuchten mittleren Gefällwinkel einer Kette ganz genau geben, während durch Messungen in der Natur ein solcher Mittelwerth in den seltensten Fällen gefunden werden kann, weil bei einem Profile, wie es z. B. unsere Figur auf der vorigen Seite zeigt, die Neigung der in der Natur nicht vorhandenen Linie a d, welche eben diesen Mittel-

*) Neue Unters. über die phys. Geogr. der Alpen S. 133.

werth des Gefällwinkels anzeigt, nicht wohl aus einer Messung gefunden werden kann. Ueberdies erwähnt A. v. Schlagintweit selbst, daß er bei seinen Messungen vorzugsweise auf die Maxima der Neigungen sein Augenmerk gerichtet habe.

Selbst in den engsten Thälern der höchsten Centralmassen ist diese mittlere Neigung eine so geringe, daß man sich nur dann von ihrer Richtigkeit überzeugt hält, wenn man durch wiederholte Prüfung sich überzeugt, daß kein Fehler bei der Bestimmung vorgefallen. So gibt folgende Figur genau die mittlere Neigung des Mont Blanc von seinem Gipfel (B) bis nach Chamouny (C) einerseits und nach der Dora (D) im Süden. Sie beträgt, wie eine genaue

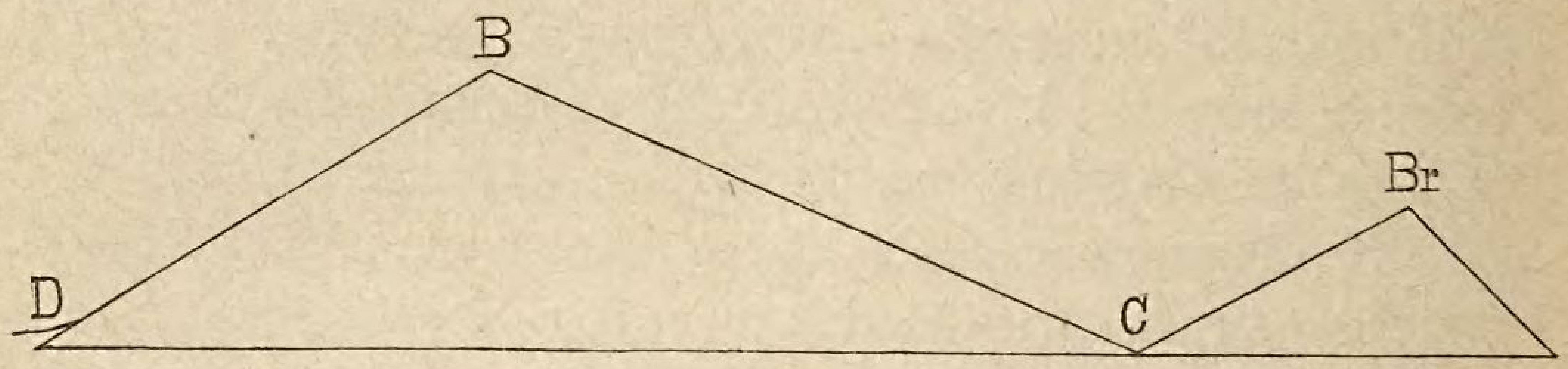


Fig. 11.

Messung der horizontalen Entfernung der beiden genannten Punkte vom Gipfel im Verhältniß zu dessen Höhe ergibt, 23° 27′ auf der Nordseite und 30° 53′ auf der Südseite.

Die Nordseite des Chamounythales zeigt vom Brévent nach Chamouny eine mittlere Neigung von 28° 39′. Wenn auch, wie schon erwähnt wurde, aus diesen berechneten mittleren Neigungswinkeln die wirkliche Neigung der Wände eines Berges nicht bestimmt werden kann, so gibt sie uns doch einen Anhaltspunkt für die Vergleichung des landschaftlichen Charakters verschiedener Thäler. Wenn wir, wie dies eben für den Mont Blanc geschehen ist, die mittlere Neigung vom Gipfel bis zu einem bestimmten Punkte des Thales für verschiedene Thäler kennen, so ist uns damit der Winkel gegeben,

unter welchem uns der Gipfel vom Thale aus erscheint. Je größer dieser Winkel ist, desto mehr müssen wir unseren Kopf rückwärts beugen oder die Augen erheben, um den Gipfel zu blicken, und um so höher wird er uns erscheinen. Ebenso geht ohne weiteres aus der Figur hervor, daß uns die beiden Linien, welche die mittlere Neigung anzeigen, die Oeffnung des Thales gegen den Himmel bestimmen, d. h. wie viel von dem Himmelsgewölbe uns sichtbar bleibt. Nennen wir die mittleren Neigungswinkel der beiden Thalgehänge a und b, so bleibt offenbar von dem Himmelsgewölbe zwischen den beiden Kämmen noch $180^{\circ} - (a + b)$ übrig. In dem oben gewählten Beispiele Chamouny ist $a + b = 52^{\circ}$, es bleibt uns also noch $180^{\circ} - 52 = 128^{\circ}$ des Himmels frei, also etwas mehr als $^{2}/_{3}$. Auch dies ist ein Moment, das wesentlich mit den Eindruck bestimmt, welchen ein Thal auf den Besucher desselben macht, und der Bewohner der Ebene fühlt sich bei längerem Aufenthalt in engen Thälern nicht selten dadurch gerade gedrückt, daß ihm der Anblick des Himmels so beträchtlich geschmälert ist.

Noch ein Weiteres ergibt sich übrigens aus jeder solchen Zeichnung, welche die natürlichen Maße und Werthe angibt, nämlich das, wie wenig wir im Stande sind, Neigungsverhältnisse richtig zu taxiren. Ich glaube, daß Jeder, der das Chamounythal oder ein anderes der engen Thäler der Centralalpen besucht hat, auf die Frage, ob ihm durch diese Linien (Figur 11) die Neigung der Wände dieses Thales und die Erhebung des Mt. Blancgipfels richtig gegeben scheine, bestimmt behaupten würde, daß ihm diese Neigung viel steiler, die Beschränkung des Anblickes des Himmelgewölbes viel beträchtlicher erschienen sei, als es nach dieser Figur sich zeige.

Hat man schließlich auch diesen Faktor, die mittlere Neigung, für einen Kamm oder ein ganzes Gebirge richtig bestimmt, so ist man im Stande das Volumen des Kammes

oder des Gebirges zu berechnen, ein für geologische Fragen besonders wichtiges Verhältniß, das bisher nur für wenig Gebirgsgruppen mit einiger Sicherheit bestimmt ist. v. Sonklar hat für die östlichen Alpen eine größere Anzahl solcher Bestimmungen mit großer Sorgfalt vorgenommen. Er hat zunächst 2 verschiedene Theile des Gebirges von einander gesondert der Rechnung unterzogen, das Volumen des Sockels und das Volumen der Kämme. Denken wir uns nämlich einen Durchschnitt durch ein Gebirge bis auf die Meeresfläche, so ist offenbar, daß wenigstens bei den Alpen durchgängig der Fuß der Berge schon bedeutend über die Meeresfläche emporragt und ein Durchschnitt durch mehrere Ketten folgende Figur zeigen wird. MS stelle die Lage des Meeresspiegels

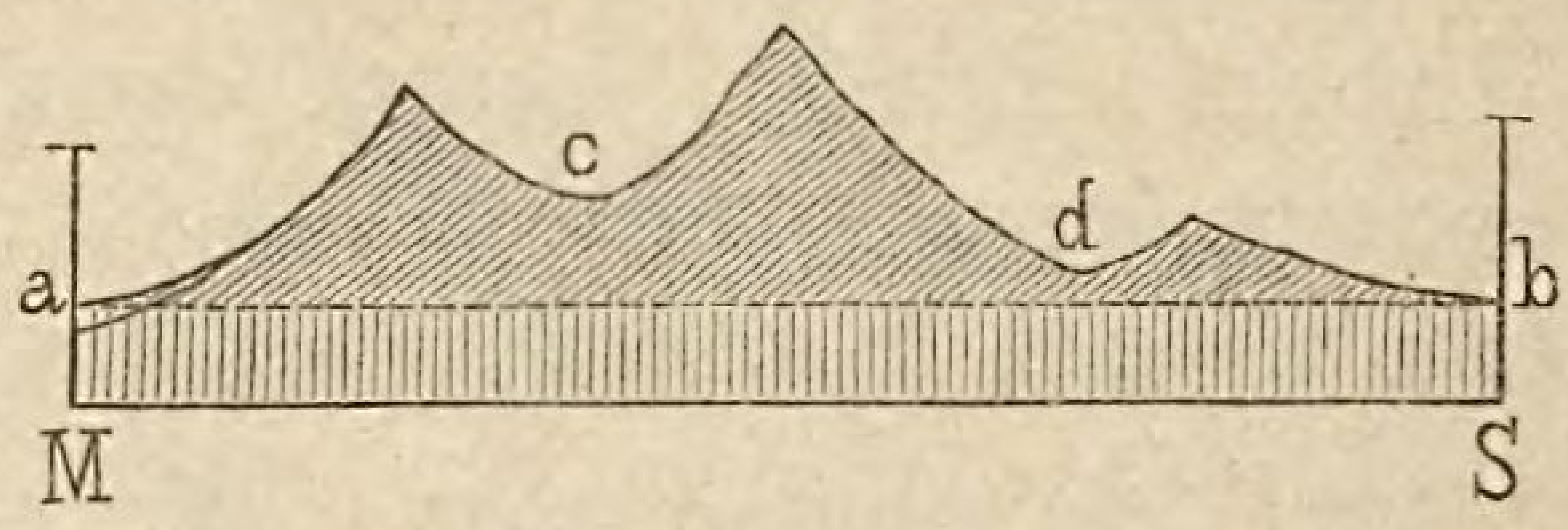


Fig. 12.

dar, ab den Fuß der Bergkette, so ist zunächst die Linie ab genau zu bestimmen, weil für die Berechnung der idealen dreiseitigen Prismen der Bergketten nur die über ab liegenden Massen in Betracht kommen.

In unserer Figur ist die mit senkrecht abfallenden Wänden angenommene prismatische Masse mit einem Flächeninhalte gleich dem des Gebirges leicht ihrem Volumen nach zu finden, so wie die Höhe aM bekannt ist. Dieser Masse hat v. Sonklar den passenden Namen „Gebirkssockel“ gegeben. Seine Berechnung ist übrigens nicht so einfach, wenn man, wie es auch unsere Figur zeigt, verschieden tief in das Gebirge eingreifende Thäler (c, d) neben den Kämmen findet. Man muß dann auch erst eine mittlere Sockelhöhe aus der mitt-

leren Höhe der Thalsohlen berechnen, die natürlich für verschiedene Theile des Gebirges verschieden ausfällt. v. Sonklar hat für folgende Theile der Alpen diese Rechnungen durchgeführt und die in der kleinen Tabelle enthaltenen Werthe erhalten. Es gibt A die Länge aller Kämme in g. Meilen, B die mittlere Sockelhöhe in Par. F., C den Flächeninhalt des Gebirges in g. Q. M., D das Volumen des Gebirgssockels in Kub. Meilen, E das Volumen der Kämme, F das Totalvolumen des Gebirges, G die mittlere Höhe des massiven Plateaus.

	A	B	C	D	E	F	G
Oetzthaler Gebirge	56,31	4983	41,60	8,88576	5,04683	13,93259	7817
Stubayer „	37,21	3488	27,51	4,10931	3,80773	7,91704	6720
Zillerthaler „	54,25	3774	43,10	6,97010	4,01950	10,98760	5954
Hohe Tauern	103,98	3970	98,38	16,72580	7,79770	24,52350	5886
Hochschwabgruppe	23,50	2140	18,50	1,69645	0,95387	2,65032	5438

Als mittlere Höhe der genannten Gebirgsgruppen findet man dann F : C 60,1105 Kub. Meilen: 229,09 (der Gesammtflächeninhalt) oder 5982 Par. F., eine Zahl, die der Art der Berechnung des Volumens der Kämme wegen etwas zu hoch sein dürfte.

Die Gebirgsstöcke.

Wir haben schon früher erwähnt, daß es in manchen Fällen nicht leicht ist, eine scharfe Grenze zwischen einzelnen Elementarformen, welche unsere Gebirge zusammensetzen, zu ziehen. Wir haben dort auch schon die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale eines Gebirgsstockes erwähnt. Hier haben wir es zunächst mit den räumlichen Verhältnissen derselben zu thun, über die noch schwieriger, als über die Bergketten sich allgemeine Gesetze aufstellen lassen. Als eine den Gebirgsstöcken eigenthümliche Erscheinungsform ist hier der mehr oder weniger deutlich ausgesprochene und sich selbst in den Unterabtheilungen eines Gebirgsstockes wiederholende radiale

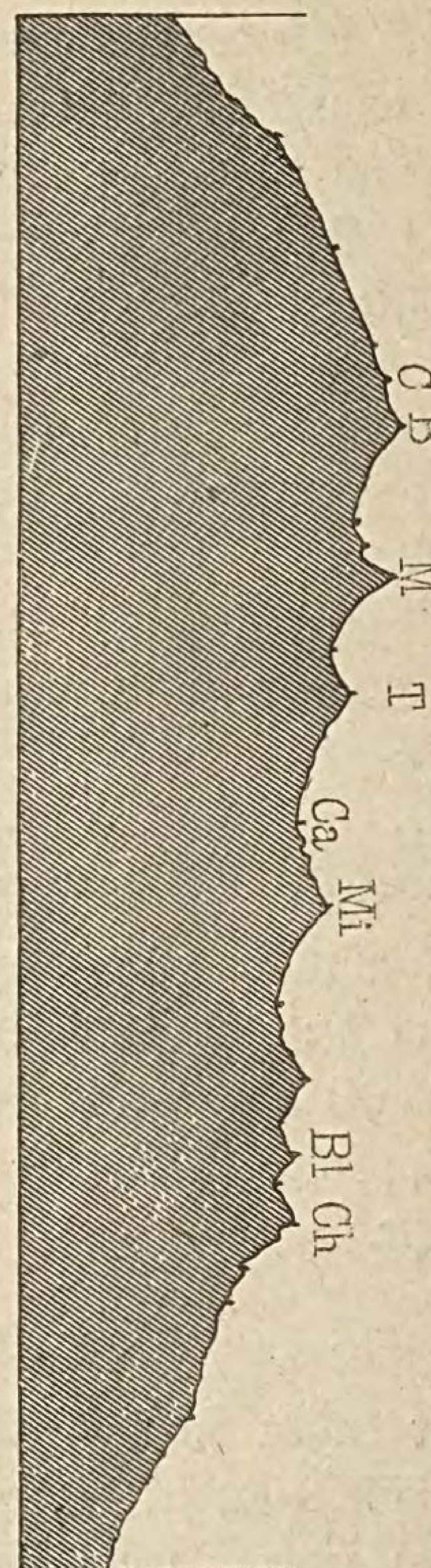


Fig. 13.

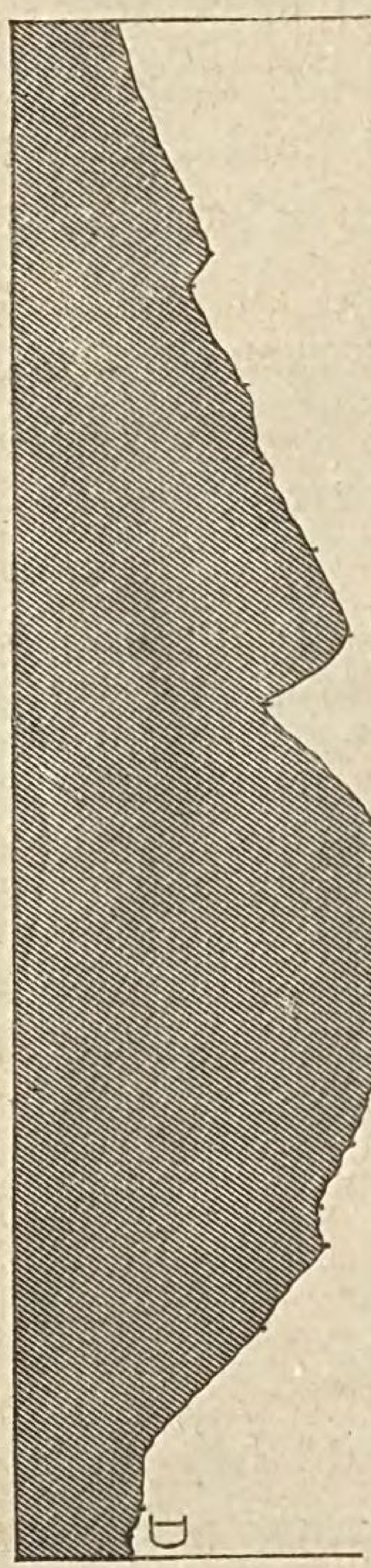


Fig. 14.

Bau seiner einzelnen Theile hervorzuheben. Gewöhnlich ist ein der Höhe nach alle anderen überragender Gipfel vorhanden, um den eine Reihe anderer gelagert ist, welche durch schroffe Kämme mit dem centralen wie mit anderen verbunden sind und ziemlich rasch an Höhe abnehmen. Natürlich ist dann auch die räumliche Ausdehnung eine beschränktere, als die der Gebirgsketten; Länge und Breite ist viel weniger verschieden,

als bei den letzteren. Von einer Kammlinie und mittleren Kammhöhe kann dann auch keine Rede sein und die Orometrie hat an den Gebirgsstöcken die allergrößten Schwierigkeiten zu überwinden, wenn es sich darum handelt, das Ausmaß eines solchen Gebirgsstockes vorzunehmen. Es kann sich hier nur darum handeln, die mittlere Höhe der ganzen Masse zu finden, was wohl in keiner andern Weise zu erreichen ist, als durch Herstellung eines möglichst genauen Reliefs eines solchen Stockes, dessen Volumen dann leicht zu messen ist. Um ein Bild von der Gestaltung eines solchen Gebirgsstockes zu erhalten, geben wir hier Fig. 13 noch eine Zeichnung des Kammes, der vom Gipfel des Mt. Blanc nach Nordost sich erstreckt mit seiner Verlängerung nach Südwest im Maßstabe von 1:200000, vom Glacier de Miage bis zum Ende der Mer de Glace, also das Profil der Linie B. M. T. unserer Fig. 2 S. 22. Fig. 14 gibt den Abfall der Kammlinie vom Gipfel nach Nordwest über Dôme du Gouter, Aigll. de Bionnassay in das Val de Montjoïe. (B, G, Bi Fig. 2).

Ich habe nach einem im Maßstabe von 1:50000 angefertigten sehr genauen Relief des Mont Blancstockes das Volumen dieses Stockes gemessen. In folgender Weise sind an einem guten Relief derartige Messungen leicht auszuführen. Zunächst muß die Basis des Stockes genau bestimmt und ihrem Flächeninhalte nach bekannt sein. Bei dem Mt. Blanc ist dieselbe durch die Flüßchen Arve, Bon Nant, Dora, Dranse und die von einem in das andere führenden Päſſe wohl bestimmmt. Sie enthält 11,232 g. Q. M. oder 618,5 Millionen Q. Meter. Umgibt man nun auf dem Modell diese Basis mit einer senkrechten Einfassung von Pappe oder Blech, deren oberer Rand der Höhe des Gipfels gleich kommt, so ist das Volumen dieses eingeschlossenen Raumes sofort in Kub. Meter oder Kub. Meilen zu berechnen, wenn man denselben mit feinem Sande bis zum Rande ausfüllt und die

Menge des Sandes von dem berechneten Kubikinhalte des ganzen Raumes abzieht.

Wir können nun daraus die sog. mittlere Höhe dieses Gebirgsstockes leicht berechnen. Man versteht darunter bekanntlich diejenige Höhe, welche ein Land oder Berg haben würde, wenn man seine ganze Masse so gleichmäßig über seine Basis ausbreitete, daß sie überall gleich hoch und überall senkrechte Wände an ihrem ganzen Umfange haben würde. Mit andern Worten es ist der Quotient der Volumzahl dividirt durch die Zahl des Flächeninhaltes der Basis, in unserem vorliegenden Falle 2890 m. oder 8896 Par. Fuß.

Die Hohlformen des Bodens.

Die räumlichen Verhältnisse der Thäler.

In dem Alpengebirge haben wir es nur mit der einen der beiden Arten der Hohlformen des Bodens zu thun, welche wir schon früher angeführt haben. Auch diese können wir leicht in zwei Unterabtheilungen bringen, die wir als Thäler und Schluchten bezeichnen wollen. Unter ersteren verstehen wir alle die Zwischenräume, welche sich zwischen verschiedenen Bergen oder Bergketten befinden und fassen unter Schluchten alle diejenigen Hohlformen zusammen, welche in den Körper eines Berges oder einer Kette sich hineinziehen. Wenn es auch in einzelnen Fällen zweifelhaft sein mag, ob wir eine solche Vertiefung zu den Thälern oder Schluchten zu rechnen haben, so wird es doch in den meisten keine besonderen Schwierigkeiten darbieten. Es sind eben auch in dieser Beziehung keine scharfen Grenzen zu ziehen, wie auch zwischen den Begriffen Berg, Bergkette und Gebirgsstock, aus dem einfachen Grunde, weil durch die fortdauernde Thätigkeit der Kräfte, welche die Oberfläche der Erde gestalten, Berg und Thal erzeugen, alle diese verschiedenen Formen, die wir im

Relief des Bodens unterscheiden, sich beständig ändern und in einander übergehen. So verwandeln sich Gebirgsstöcke und Ketten in einzelne Berge, Schluchten in Thäler, und eben darum ist es uns nicht möglich scharfe Grenzen zu ziehen, da sie fortwährend von der Natur verwischt werden.

Die Formen der Thäler sind außerordentlich mannigfach, einerseits abhängig von der Form der Bergwände, zwischen denen sie eingeschlossen sind, andrerseits von der Entfernung dieser von einander. Meistens wechselt in einem und demselben Thale beides sehr häufig, es bilden sich Thalengen und Thalweiten; der eigenthümliche Charakter jedes Thales wird wesentlich von dem Wechsel der Weite, der Neigung und Form seiner Seiten bedingt.

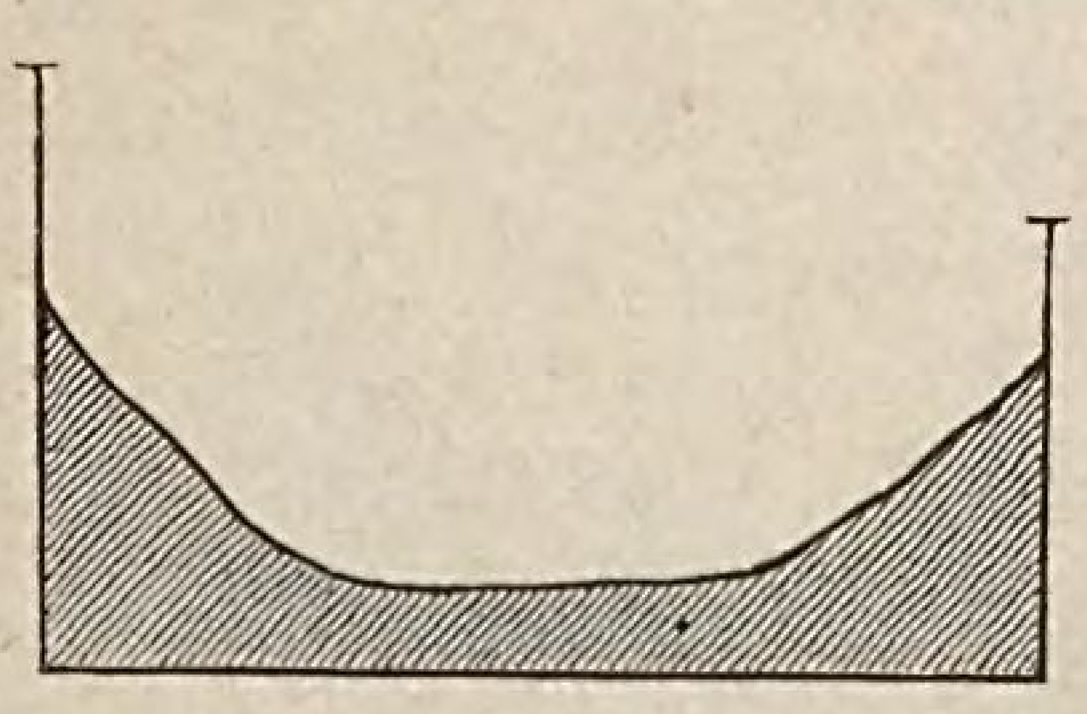


Fig. 15.

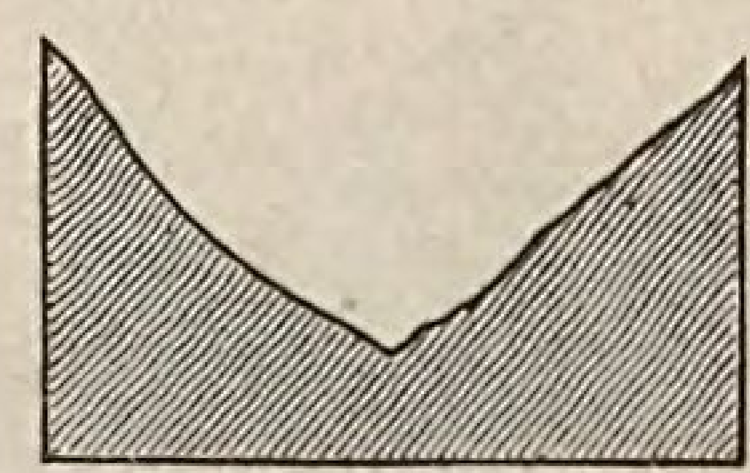


Fig. 16.

An jedem Thale unterscheiden wir die Thalwände und die Thalsohle. Die allgemeinen Verhältnisse der Thalwände haben wir schon bei den Bergen und Ketten besprochen, da diese ja die Thalwände bilden. Dagegen bedarf die Thalsohle einer näheren Besprechung. Man versteht darunter den tiefsten zwischen den beiden Wänden gelegenen im Querschnitte horizontalen oder jedenfalls im Verhältnisse zur Neigung der Wände sehr wenig geneigten Theil des Thales, in den fast immer, bald mehr bald weniger tief, ein Bach oder Fluß sein Bett eingeschnitten hat. Die Sohle kann eine sehr bedeutende Breite haben wie Fig. 15, aber auch bis auf eine Linie sich verengen wie in Fig. 16. Die meisten Thäler des

eigentlichen Hochgebirges zeigen die zweite Form, obwohl auch hier in den sog. Thalweitungen die Breite manchmal eine nicht unbeträchtliche wird. Beispiele hiefür liefern das Reußthal und das Oetzthal. Ersteres hat bei Andermatt eine Breite von 3690 F. (1200 m.), letzteres bei Lengenfeld von 11500 F. (3722 m.). Nicht selten beobachtet man auch, daß in verschiedenen Zeiten verschiedene Thalsohlen terrassenartig übereinander gelagert vorhanden waren, die man gewöhnlich als Uferterrassen bezeichnet. Sie sind meist von Geröll überlagert und in den Thalweitungen entwickelt. Die Thäler bieten an diesen Stellen dann auf dem Querschnitte folgendes Profil. Sie entstehen, wenn der Fluß sein Bett tiefer gräbt.

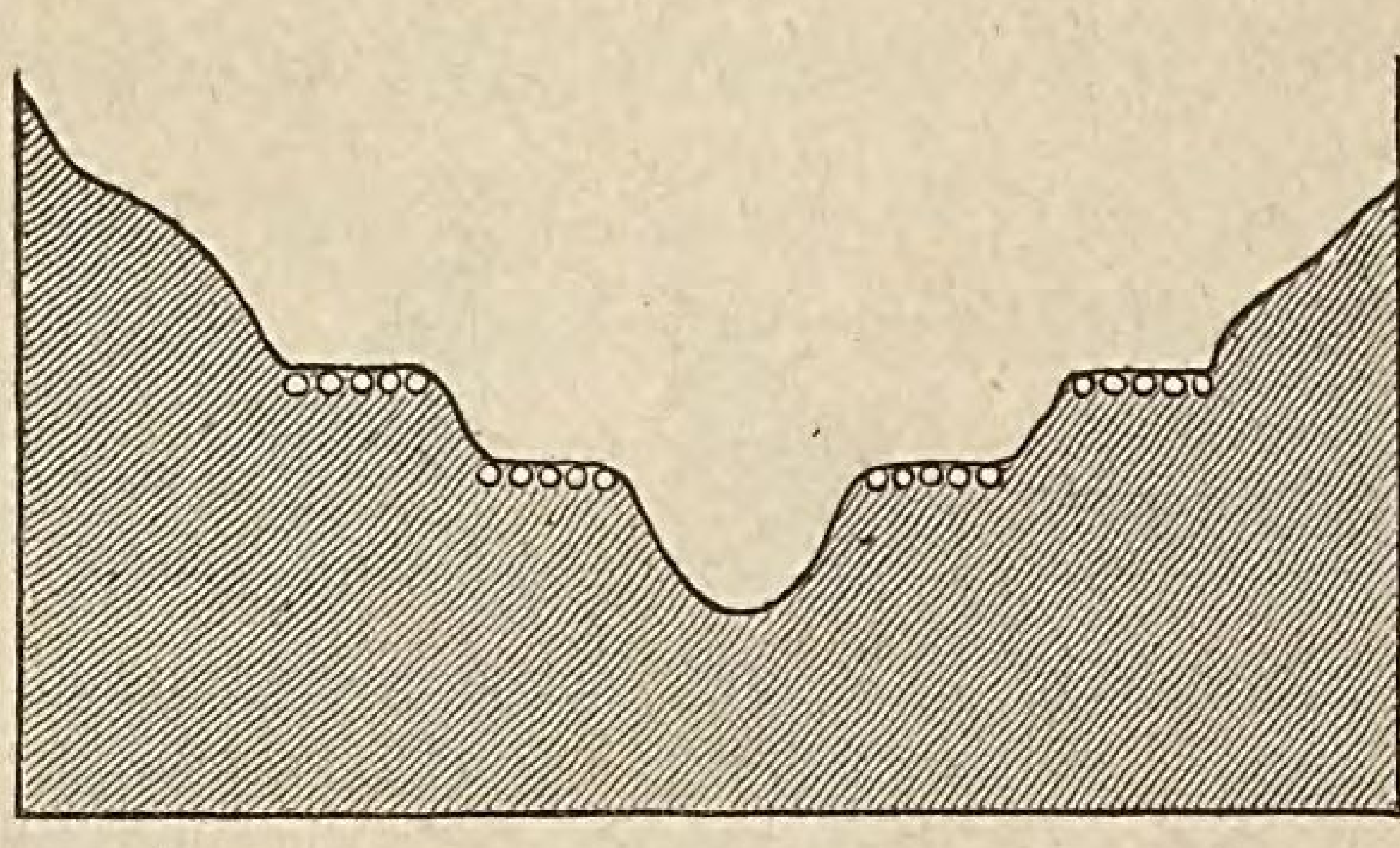


Fig. 17.

Von besonderer Wichtigkeit für die räumlichen Verhältnisse eines Thales sind die Neigungsverhältnisse der Thalsohle, das Gefälle desselben. Auch hier zeigt sich eine außerordentliche Mannigfaltigkeit sowohl in der Größe, als auch in dem Wechsel der Neigung bei den verschiedenen Thälern. Bei den größern Strömen unterscheidet man nach der Neigung des Bettes gewöhnlich Oberlauf, Mittellauf und Unterlauf, in den Alpen selbst haben wir es nur mit dem Oberlauf der Flüsse, demnach mit stärkeren Neigungen der Thalsohlen, welche ja das Bett der Flüsse bilden, zu thun.

Auch bei diesem findet sich wieder eine große Verschiedenheit der Neigungsverhältnisse nicht nur an den verschiedenen Thälern und Flüssen, sondern auch in einem und demselben Thale an seinen verschiedenen Stellen. Weniger geneigte Stellen wechseln mit stärker geneigten. Die stärkste Neigung findet sich in der Regel am Anfange des Thales; doch kommen auch hier Ausnahmen vor, wie z. B. der Inn, der längste Alpenstrom, eine solche erkennen läßt. Wie bei den Neigungen der Bergwände überschätzt das Auge auch meistens das Gefälle der Thalsohlen. Sie ist schon vom Anfange des Thales an eine so äußerst geringe, daß man in kleinem Maßstabe die wirklichen Neigungsverhältnisse kaum mehr auftragen kann, weil eine horizontale Linie, über der eine zweite, das richtige Verhältniß der Neigung darstellende gezogen wird, der ersteren parallel zu gehen scheint. Wollen wir z. B. das mittlere Gefäll des Inns von seinem Ursprung aus dem Silser See bis zu seiner Vereinigung mit der Donau durch eine Linie a b angeben, d. h. eine gerade Linie von dem ersteren zum letzteren Punkte, den Lauf des Flusses geradlinig gestreckt gedacht, mit derselben Neigung ziehen, so würde diese zu einer horizontalen Linie c d, beide 100 mm. lang angenommen, so gering, daß der Punkt a über dem Punkt c nur um $^1/_4$ mm. (genau 0,28 mm.) höher läge, als b über d. Eine so geringe Konvergenz der beiden Linien möchte kaum ein Auge zu erkennen im Stande sein. Stärkere Neigungen zeigen sich jedoch in den Schluchten und zwar so starke, daß das Wasser keine zusammenhängende Masse mehr bildet, sondern entweder eigentliche Fälle oder über und zwischen Felsblöcken herabschäumende Wildbäche bildet. Hier kann dann aber auch nicht mehr eigentlich von einem Thale die Rede sein, sondern von einem Wasserrisse in der Bergwand.

Schon die Betrachtung des Gefälles der Thalsohlen führt uns zu einer Unterscheidung zweier wesentlich verschiedenen

Arten von Thälern, wie sie von Geographen aufgestellt wurden, welche dabei zunächst nur die Richtung des Wasserlaufes der Thäler im Auge hatten, nämlich sog. Längsthäler und Querthäler. Unter Längsthälern versteht man jene Thäler, deren Richtung der Längsachse des Gebirges, in dem sie sich befinden, parallel laufen, dagegen unter Querthälern jene, welche nahezu oder auch ganz senkrecht auf der Längsachse des Gebirges stehen. Jene ziehen sich zwischen ausgesprochenen Längsketten des Gebirges hin, diese durchbrechen eine oder mehrere derselben. Die ersteren haben, weil die Länge aller Kettengebirge namentlich auch der Alpen, die Breite bedeutend übertrifft, eine beträchtlich größere Länge, als die Querthäler. Als sehr charakteristische Längenthäler der Alpen können wir das Rhonethal, das Vorderrheinthal, das Innthal, das Salzachthal, das Drauthal anführen. Ausgesprochene Querthäler sind die der Reuß, des Tessin, der Oetz, das Zillerthal. Aeußerst selten und nur bei kurzen, mehr schon am Rande des Gebirges gelegenen Thälern kommt es vor, daß ein und dasselbe Thal seinem ganzen Verlaufe nach seinen Charakter als Längs- oder Querthal beibehält; häufig beobachtet man, daß der Lauf eines Flusses längere Zeit in einem Längsthale fließt, dann in einem Querthale das Gebirge durchbricht, eine oder mehrere Ketten desselben, um dann wieder in einem Längsthale fortzufließen. So fließt die Reuß bis Andermatt in einem Längsthale und geht dann in das bis zum Vierwaldstädter See reichende Querthal, und der Rhein fließt bis Chur in einem Längsthale und durchbricht dann das Gebirge in einem Querthale bis zum Bodensee. Aehnlich verhält sich der Inn ober- und unterhalb Kufstein, die Salzach und eine Reihe andrer Flüsse, wie es die Betrachtung jeder Karte leicht erkennen läßt.

Es läßt sich der Lauf solcher Flüsse leicht schematisch durch folgende Figuren veranschaulichen, in denen die Gebirgs-

ketten durch eine von 2 Linien eingefaßte Punktreihe, die Flüsse durch ununterbrochene einfache Linien angezeigt sind. Fig. 18 stellt einen Fluß vor, der 2 Längsthälern mit einem kurzen Querthale dazwischen angehört, während Fig. 19 ein reines Querthal darstellt.

Sehen wir nun etwas näher die Verhältnisse der Länge und Neigung der beiderlei Arten von Thälern an, so finden wir als eine Regel, die kaum eine Ausnahme erleiden dürfte, daß die Länge der Längsthäler viel bedeutender, als die der

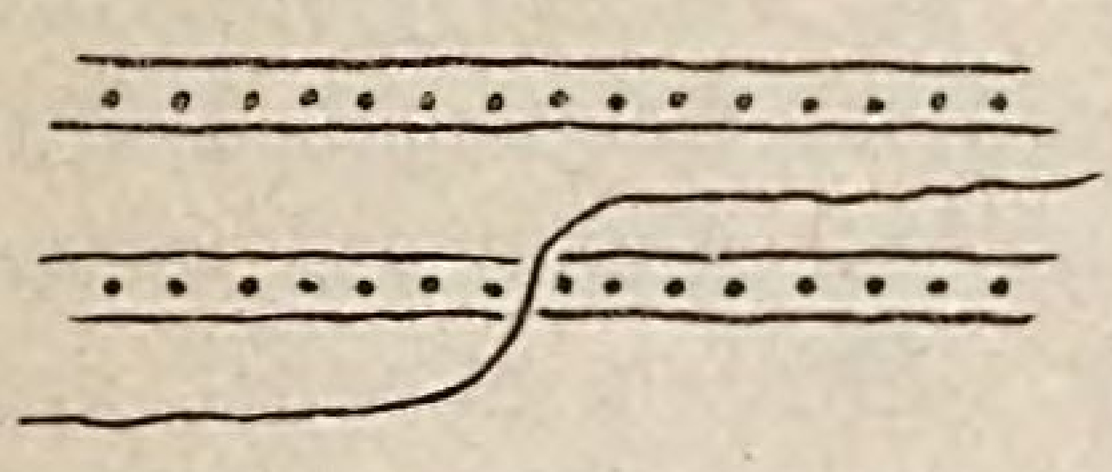


Fig. 18.

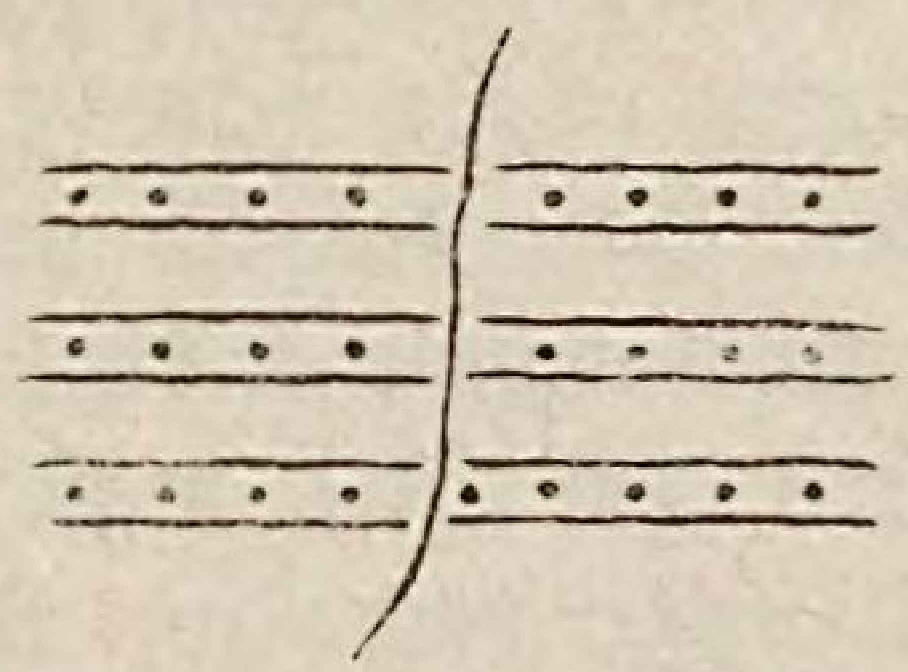


Fig. 19.

Querthäler sei, dagegen die Neigung jener eine viel geringere, als der letzteren, eine Erscheinung, die einfach aus der Thatsache, daß eben erstere einem Längsschnitte, letztere einem Querschnitte des Gebirges angehören, mit Naturnothwendigkeit folgt.

Die bedeutendsten Längsthäler der Alpen sind das Rhonethal, das Rheinthal, das Innthal, Salzachthal und Drauthal, die längsten Querthäler die der Reuß, des Tessin und der Oetz.

Beispiele von Längs- und Querthälern.

Will man, wie wir es an einigen Beispielen sofort vornehmen werden, etwas näher die eben zum Theil erörterten allgemeinen Verhältnisse der Thäler mit Zahlenangaben darstellen, so muß man sich vor Allem über eine Frage ver-

ständigen, die von verschiedenen Geographen theils gar nicht aufgeworfen, theils sehr verschieden beantwortet wird, nämlich die Frage: Wo ist der Anfang eines Thales anzunehmen? Die einen, dem Laufe des Wassers oder eines Gletschers folgend, aus dem der später im Verlaufe das Thal durchziehende Fluß hervorkommt, lassen die Thäler, wenn nur eine leichte Einbiegung oder Furche als Fortsetzung des Thales vorhanden ist, bis auf die Gipfel der Berge sich fortsetzen. So rechnet A. v. Schlagintweit das Vispachthal vom Matterjoch an, das Lysthal vom Lyskamme an. Natürlich erhält man dann auch ganz andere Zahlen für die mittlere Höhe des Thales, die mittlere Neigung des Thales, als wenn man das Thal nicht auf dem Kamm des Gebirges, sondern erst tiefer beginnen läßt. Bleiben wir bei unserer oben angenommenen Definition eines Thales und der Unterscheidung zwischen Thal und Schlucht, so werden wir jedenfalls eine Verlängerung des Thales bis auf den Kamm des Gebirges als unzulässig bezeichnen und dem Ausspruche v. Sonklar's beistimmen müssen, indem er sagt: „Zunächst läßt sich wohl ohne Bedenken behaupten, daß irgend ein Punkt nicht einer Thalsohle und einem Kamme zugleich angehören kann.“ Halten wir das fest, so müssen wir den Anfang des Thales nur am Fuße des Gehänges eines Thales suchen. v. Sonklar hat dies durch eine schematische Figur veranschaulicht, die wir hier beisetzen.

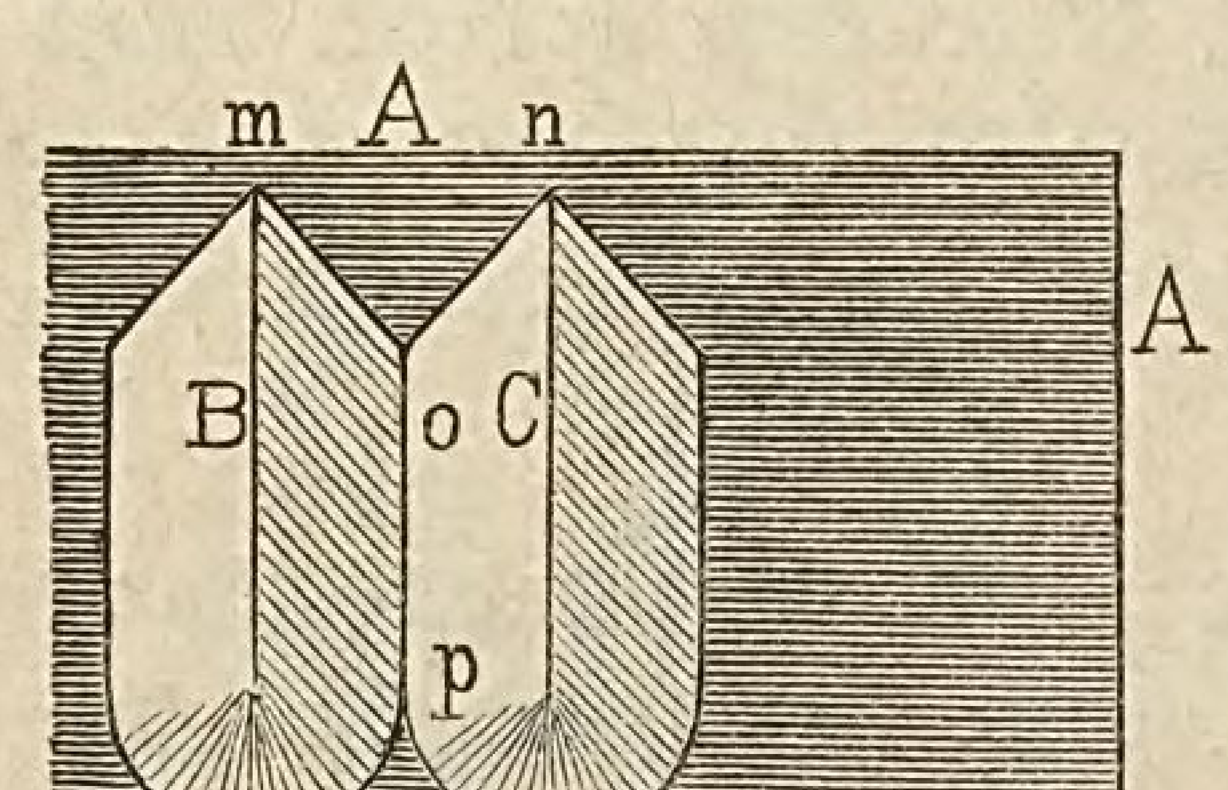


Fig. 20.

Es stelle B und C zwei von einem Hauptkamme A auslaufende Nebenketten dar, zwischen denen sich das Thal op befindet. Die horizontal schraffirten Stellen geben den Hauptkamm, zu dem offenbar die hinterste Wand des Thales zwischen

mon, von v. Sonklar als Hintergehänge bezeichnet, gehört. Der Anfang des Thales ist in einem solchen Falle bei o, selbst wenn sich noch eine Furche zwischen o und A weiter hinaufzöge, die wir nach unserer früheren Unterscheidung der Hohlformen ohne Weiteres zu den Schluchten zu rechnen haben. Es mag in manchen Fällen praktisch dieser Anfangspunkt nicht genau auszumitteln sein; aber wie derselbe Forscher bemerkt, kann dies der Richtigkeit der Theorie keinen Eintrag thun, dürfte auch bei genauer Beobachtung der Verhältnisse in der Natur selbst, nicht sehr oft vorkommen.

Wir fügen hier die genaueren Angaben über die 2 größten Längsthäler und 2 der größten Querthäler an.

	Höhe über dem Meere	Länge und Gefälle von einer Stelle zur andern		Gefälle auf je 100 Fuß	Mittleres Gefälle
Rhein (Vorderrhein).					
1 Ursprung	7632				
2 Ober Selva . . .	5776	17800	1856	10,39	
3 Selva	4702	12900	1074	8,33	
4 Bei Dissentis . .	3217	37200	1485	3,15	
5 Einfluß des Medelser Rheines .	2700	29800	517	1,73	1,23 od.
6 Bei Obersaxen .	2318	37820	382	1,00	0° 45′
7 Bei Ilanz	2123	26400	195	0,75	
8 Versamthal . . .	1973	26100	150	0,58	
9 Reichenau . . .	1798	21500	175	0,78	
10 Haldenstein . . .	1696	37200	102	0,28	
11 Zollbrücke	1600	36600	96	0,27	
12 Ragatz	1540	51350	60	0,10	
Bodensee	1225	183440	315	0,17	
		519110			

	Höhe über dem Meere	Länge und Gefälle von einer Stelle zur andern		Gefälle auf je 100 Fuß	Mittleres Gefälle
Rhone.					
1 Gletscherende. . .	5400				
2 Oberwald	4163	13800	1237	8,8	
3 Ober-Gestelen .	4120	29500	43	0,44	
4. Bei Münster . .	4080	16000	40	0,25	
5. Gluring	4003	12600	77	0,60	
6. Niederwald . . .	3800	15300	203	1,32	
7 Grengiols	2508	38440	1292	3,35	
8 Bei Brieg	2139	30100	369	1,47	0,82 od.
9 Raron	1988	52915	151	0,22	0° 28′
10 Siders.	1654	61500	334	0,49	
11 Grange	1564	27000	90	0,34	
12 Sion.	1530	29500	34	0,11	
13 Riddes.	1474	40000	56	0,13	
14 Bei Saxon . . .	1434	27700	40	0,14	
Genfer See . . .	1154	139020	280	0,20	
		512875			
Reuß.					
1 Muttengletscher-ende	6480				
2 Realp	4740	22700	1740	8,48	
3 Andermatt. . . .	4416	26400	224	1,20	
4 Geschenen	3363	12310	1053	9,12	
5 Unter Geschenen.	3010	5800	353	4,42	3,32 od.
6 Ober Wasen . .	2812	5800	198	3,42	1° 32′
7 Bei Wasen . . .	2600	3070	212	6,70	
8 Fellibach	2129	15390	471	3,08	
9 Amsteg.	1650	15390	479	3,14	
10 Erstfeld	1410	21500	240	1,11	
Vierwaldst. See .	1345	26100	65	0,20	
		158460			

	Höhe über dem Meere	Länge und Gefälle von einer Stelle zur andern		Gefälle auf je 100 Fuß	Mittleres Gefälle
Oetz.					
1 Schnalserkamm .	9909				
2 Gletscherende . .	6966	(29045)	(2943)	(10,13)	
3 Fend.	5984	22360	982	4,39	
4 Zwieselstein . . .	4670	39000	1310	3,36	
5 Söldener Terrasse	4250	8600	420	4,86	
6 Ober Lengenfeld	4200	7000	50	0,71	
7 Unter "	3750	24000	450	1,87	2,67 od.
8 Mauracher					1^0 32′
Schlucht	3600	27000	150	0,55	vom
9 Ober Umhausen .	3250	10800	350	3,24	Gletscher-
10 Unter "	2888	18000	362	2,01	ende an.
11 Gspreng-Ende . .	2460	5000	420	8,56	
12 Unter Oetz	2300	9000	160	1,77	
13 Mündung der					
Oetz	2150	10000	150	1,50	
			4816*		

Die angeführten Beispiele mögen genügen, um die eigenthümlichen Verhältnisse der Längs- und Querthäler näher erkennen zu lassen.

Zunächst sehen wir, wie dies aus den nachstehenden Fig. 21—24 hervorgeht, in denen die Höhe im Verhältniß zur Länge um das Fünffache übertrieben dargestellt ist, daß die Neigungen der Thäler überall gering sind, selbst in den obersten Anfängen. Die tieferen punktirten Linien am Anfange der Figur 23 und 24 geben das richtige Verhältniß des Gefälles für die Reuß und die Oetz; auch diese Linien zeigen uns, wie gering in Wirklichkeit die Neigungen der Thalsohlen sind.

*) Vom Gletscherende bis zur Mündung gerechnet.

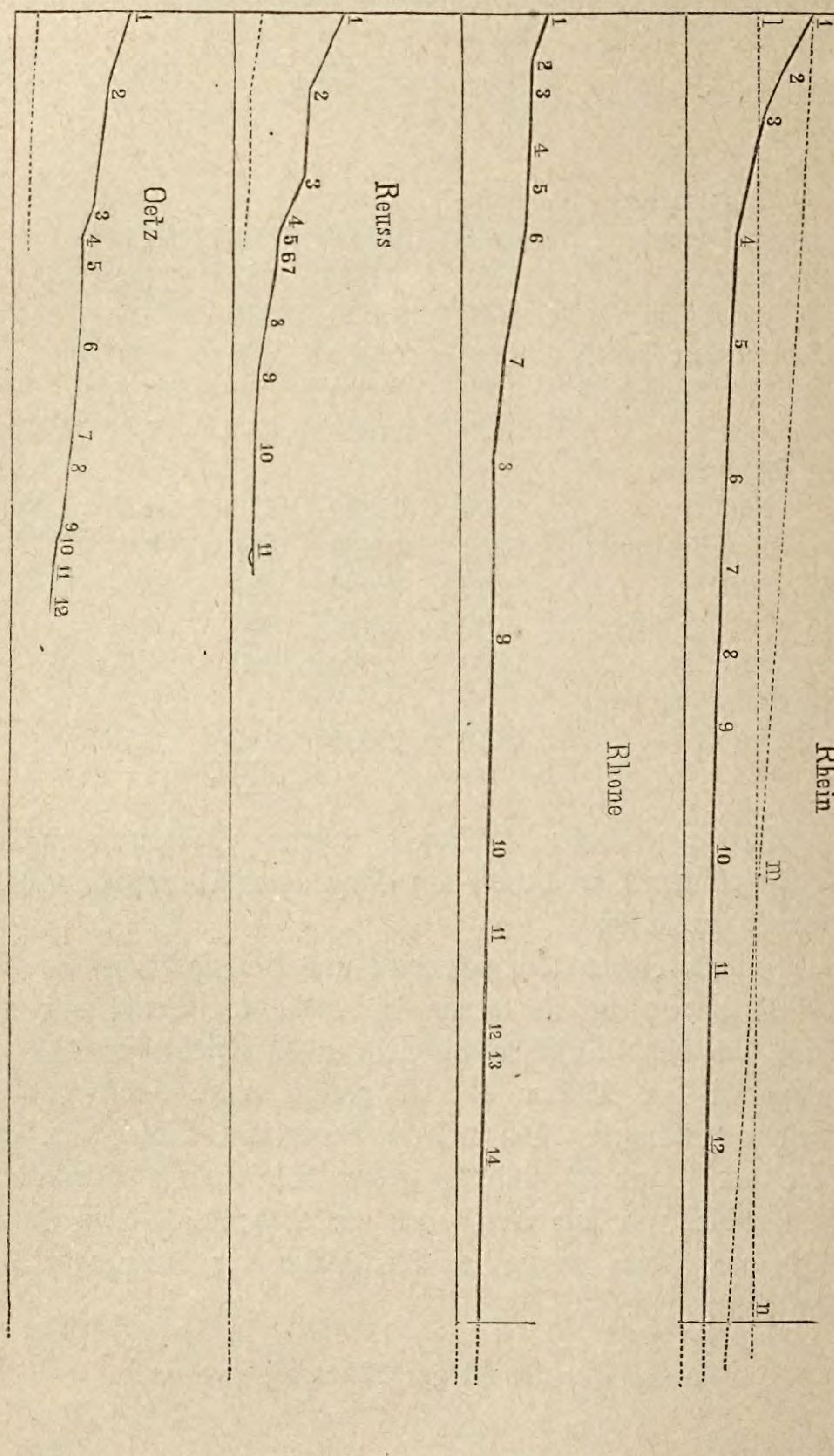


Fig. 21—24.

Wir sehen ferner den großen Unterschied in dem Gefälle der Längs- und Querthäler. Wir haben von letzteren die längsten und in Folge dessen auch die geringsten Neigungen zeigenden Querthäler betrachtet. Bei beiden bleibt selbst das mittlere Gefälle über 2²/₃ Fuß auf 100 oder über 1¹/₂ Grad, während es bei den Längsthälern in Maximum nur 1¹/₄ Fuß oder 45 Minuten erreicht. v. Sonklar hat aus den Tauern Angaben über 32 Querthäler I. Ordnung, deren mittlere Neigungen zwischen 1,45° und 11,20° schwanken*). Als Mittel aus diesen 32 Werthen ergibt sich für die Querthäler I. Ordnung 5° 49′, während für die 3 in dieses Gebiet fallenden Längsthäler Salza, Drau und Rienz sich 0° 29′ als Mittelgefälle ergibt.

Es zeigt sich ferner sehr deutlich, daß zwar von oben nach unten das Gefälle stets abnimmt, daß aber doch ein stufenartiges oder terrassenförmiges Abfallen fast überall beobachtet wird. So sehen wir am Rhein zwischen den Punkten 8 und 9, 10 und 12 ein stärkeres Fallen als auf den unmittelbar vorhergehenden Strecken. Noch schärfer zeigt sich dies an den Querthälern; sowohl die Reuß wie die Oetz zeigen derartige sanfter geneigte Terrassen. In der Natur ist häufig auch an den sanften geneigten Stellen eine Erweiterung des Thales zu beobachten. Sehr deutlich ist dieses in dem Oetzthale ausgesprochen, wo die 4 Terrassen von Sölden, Lengenfeld, Umhausen und Oetz stets auch eine Erweiterung des Thales erkennen lassen.

Besonders in den Querthälern, welche durch Schichten von steilerer Neigung hindurchgehen, hängt diese Terassen-

*) Die Zahlen sind deswegen alle etwas größer ausgefallen, weil v. Sonklar bei Berechnung der Gefälle (1864) als Anfang des Thales die mittlere Kammhöhe im Hintergrunde des Thales annahm, was mit den aus seiner „allgemeinen Orographie" (1873) oben entnommenen neueren Ansichten nicht ganz übereinstimmt.

und Stufenbildung oft nachweisbar mit dem Wechsel härterer und weicherer Gesteine zusammen. Es stellen (Figur 25) b härtere, a weichere Gesteine vor, so werden letztere viel leichter von dem fließenden Wasser angegriffen. Offenbar wird b die hinter ihm gelegenen Theile a gegen die Angriffe des Wassers schützen, ebenso b' die von a'. Hatte daher z. B. der Abhang des Gebirges früher die Form AB, so wird durch die ausnagende Wirkung des Wassers bei dem

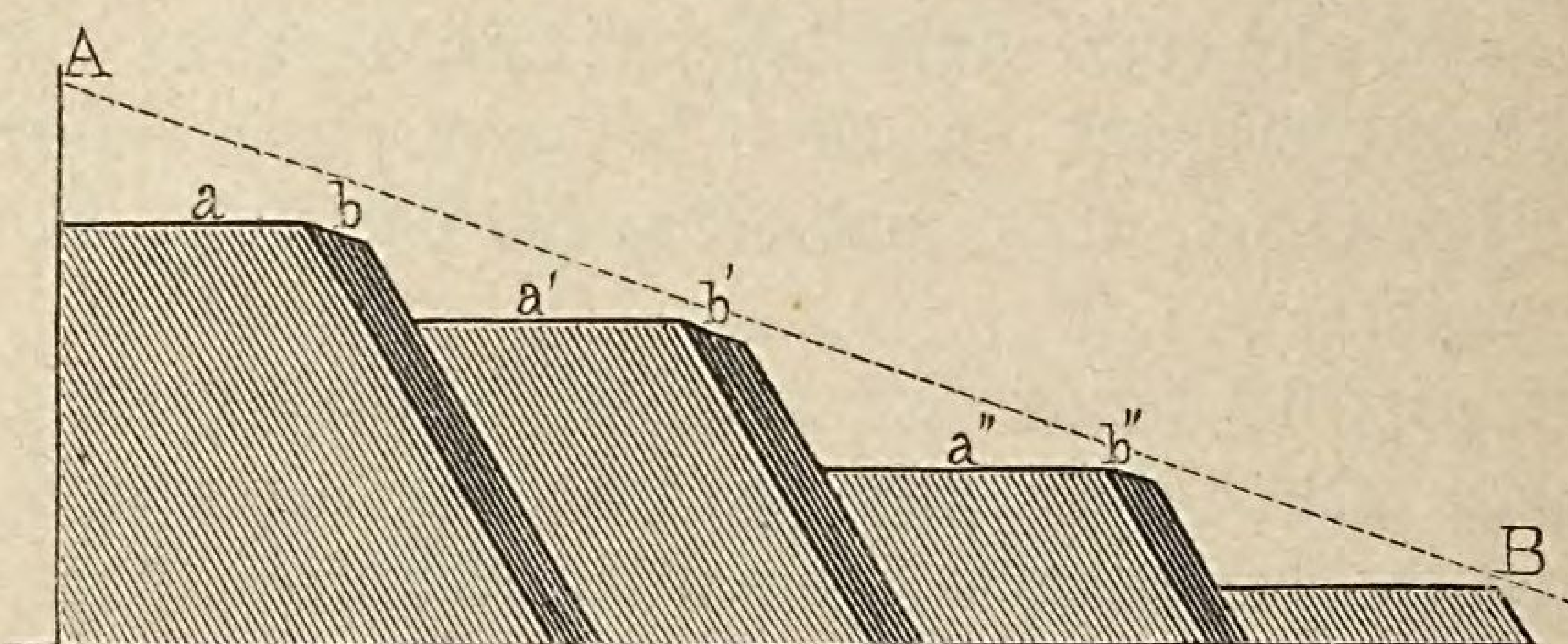


Fig. 25.

ungleichen Widerstande der Gesteine a und b die Form des Thales eine solche werden, wie wir sie hier dargestellt haben. In dem Thale der Reuß z. B. ist dieser Einfluß härterer Gesteinsschichten auf die Form des Thales nach Rütimeyer's*) klassischer Schilderung desselben deutlich zu erkennen.

Ist die Schichtenstellung eine sehr steile, so bilden die Stufen oft deutliche Wasserfälle. Das Gästeiner Thal z. B. zeigt 4 solche deutliche Terrassen, deren Abstürze meist herrliche Wasserfälle bilden, und auch der berühmte Handeckfall ist als der Steilrand einer Terrasse anzusehen.

Kennt man mit hinlänglicher Genauigkeit das Gefälle eines ganzen Thales, so kann man daraus die sog. mittlere

*) Ueber Thal- und Seebildung.

Höhe des Thales berechnen. Man versteht darunter dasselbe, was man unter der mittleren Höhe eines Kammes versteht, nämlich diejenige Höhe, welche die Thalsohle zeigen würde, wenn man sie vollkommen horizontal durch gleichmäßige Ausbreitung der höheren über die tieferen Stellen darstellen würde. Es genügt hier nicht und gibt ein falsches Resultat, wenn man nur das Mittel aus der Anfangs- und Endhöhe des Thales zieht, wie dies von manchen geschieht, weil die Thäler an verschiedenen Stellen ganz verschiedene Neigungsverhältnisse darbieten und bei gleicher Anfangs- und Endhöhe ganz verschiedene Höhen zwischen beiden zeigen können. Es würde das nur dann ein richtiges Resultat geben, wenn das Thal von seinem Anfange bis zu seinem Ende eine geradlinig verlaufende Sohle hätte, also überall die von uns sog. mittlere Neigung vorhanden wäre. Das ist aber durchaus nirgends der Fall. Ueberall sehen wir die Thäler im Anfange stärker geneigt, als weiter unten. Daraus folgt auch sofort, daß das Mittel zwischen Anfang- und Endhöhe eines Thales stets die mittlere Höhe zu hoch angeben muß. Ziehen wir z. B. in Fig. 21 S. 62 eine gerade Linie vom Anfang bis zu Ende (von 1—13), so gibt uns der Punkt m das Mittel der Höhe zwischen 1 und 13, und die mittlere Höhe des Thales würde demnach aus Anfangs- und Endhöhe berechnet, durch die horizontale Linie l m n dargestellt, was offenbar viel zu hoch ist.

Am einfachsten findet man die mittlere Höhe eines Thales, falls man eine größere Anzahl von Höhenangaben besitzt, wenn man die mittlere Höhe zwischen diesen einzelnen gemessenen Punkten bestimmt, mit der Länge einer jeden dieser Strecken die gefundene Mittelzahl multiplicirt, dann die einzelnen Produkte addirt und die so erhaltene Summe mit der Gesammtlänge des Thales dividirt. Hat man von einem Thal Höhenangaben für eine größere Anzahl von

gleich weit entfernten Punkten, so kann man auch diese Höhen addiren und das Mittel daraus ziehen. Das letztere Verfahren dürfte in den seltensten Fällen möglich sein. Nach dem ersteren sind die mittleren Höhen des Inn-, Rhein-, Rhone- und Reußthales berechnet, denen weitere von v. Sonklar berechnete Höhen folgen. Auch hier kommt natürlich wieder vor Allem in Betracht, von wo man den Anfang des Thales rechnet. Für die genannten Thäler finden sich folgende mittlere Höhen:

Inn	Rhein	Rhone	Reuß	Oetz
2675	2133	2475	3194	(5122) 4886*).

Nach v. Sonklar's Berechnung findet sich die mittlere Höhe des

Krimmler Achenthals	zu 4302	Fuß	Querthäler
Gasteiner Thales	„ 3422	„	
Mölltthales	„ 3024	„	
Salzathales	„ 2392	„	
Drauthales	„ 2338	„	

Als mittlere Höhe aller Querthäler I. Ordnung hat derselbe 3966 Fuß berechnet.

Auch diese Zahlen lassen uns wieder einen bedeutenden Unterschied zwischen Längs- und Querthälern erkennen, der darin sich ausspricht, daß die Querthäler eine bedeutendere mittlere Höhe als die Längsthäler erkennen lassen. Da die Temperaturverhältnisse wesentlich von der Höhe abhängen, so ist es klar, daß die mittleren Höhen der Thäler einen Anhaltspunkt für die Beurtheilung der Vegetationsverhältnisse derselben bilden, namentlich hinsichtlich der Kulturgewächse, somit auch für die Bewohnbarkeit derselben. Das letztere gilt namentlich für die kürzeren Querthäler in noch höherem Grade als für die ungleich längeren Längsthäler. Außer der

*) Die letztere Zahl erhält man nach Abzug des Schnalserkammes.

mittleren Höhe kommt aber hinsichtlich der Vegetationsverhältnisse noch ein weiteres Moment hauptsächlich in Betracht, nämlich die Breite der Thalsohle. Wo dieselbe sehr schmal ist und die Wände des Thales rasch ansteigen, ist natürlich wenig Raum für Kulturpflanzen. Auch hinsichtlich der Breite stehen die Querthäler den Längsthälern bedeutend nach. In den meisten Fällen ist die Sohle der ersteren nur eine Linie oder ein schmaler Streifen, häufig von Stellen unterbrochen, die als Klüfte nur dem Wasser die Sohle zugänglich machen, so daß der menschliche Fuß höher oben am Abhange des Berges oder auf einer alten Geröllterrasse seinen Weg durch das Thal suchen muß. Oberhalb solcher besonders engen Stellen, sog. Thalengen, die, wo sie ganz schmal sind, auch Thalkehlen genannt werden, finden sich dann nicht selten größere Weitungen mit sanfter Neigung, wie dies besonders deutlich in dem Oetzthale sich zu erkennen gibt, wo jede der sanfter geneigten Thalterrassen eine nicht unbeträchtliche Erweiterung erkennen läßt.

Da die Länge der Querthäler meist nicht beträchtlich ist und unregelmäßige Erweiterungen auch im Anfange der Thäler schon eintreten, wie z. B. am Reußthale bei Andermatt, so zeigt sich ein großer Unterschied in der Breite vom Thalanfange bis gegen das Ende hin nicht. Bei den Längsthälern dagegen zeigt sich im Allgemeinen ein wenn auch geringes Breiterwerden des Thales, je weiter man thalabwärts geht. Doch finden sich auch hier vielfache Ausnahmen, indem immer wieder engere Stellen den Erweiterungen folgen. Da es, wie wir schon S. 25 erwähnten, schwer ist, das Ende des Bergfußes, seine Grenze gegen die Thalsohle genau zu bestimmen, so ist es auch schwierig, genaue Zahlenangaben über die Breite der Thalsohlen zu machen.

Nach der Dufour'schen Karte finden sich folgende Werthe für die Thalsohlen des Inn, des Rhein und der Rhone.

Inn.

	Par. F.	m.
Bei Samaden	4920	(1600)
„ Bevers	4920	(1600)
„ Ponte	4300	(1400)
„ Zutz	1030	(400).

Dann verengt sich die Thalsohle, so daß dieselbe ganz vom Fluß ausgefüllt ist, und erst bei Pfunds in Tirol erweitert sich das Thal wieder, bei Innsbruck ist es selbst 10000′ breit, verengert sich dann abermals und ist bei Kufstein wieder ganz auf das Rinnsal des Wassers beschränkt.

Rhein.

Bis zur Vereinigung mit dem Hinterrhein nur hie und da kleine Erweiterungen, so

	Par. F.	m.
bei Sedrun	922	(300)
„ Trons	1540	(500)
unter Ilanz	3078	(1000)
bei Ems	1700	(1700)
„ Malans	8000	(2600)
„ Ragatz	5230	(1700)
„ Sargans	12313	(4000)
„ Vaduz	10466	(3400)
„ Bendern	21549	(7000)
unter Altstätten	26166	(8500)
bei Berneck (ober Rheineck)	30784	(10000)

von Reichenau an ist das Thal meist ziemlich breit.

Rhone.

	Par. F.	m.
Bei Oberwald	2460	(800)
„ Obergestelen	2150	(700)
„ Geschenen	2460	(800)

Rhone.

	Par. F.	m.	
Bei Reckingen	2150	(700)	dann enge bis
„ Naters	2460	(800)	
„ Brieg	4000	(1300)	
„ Gampel	4000	(1300)	
„ Sierre	6760	(2200)	
„ Vetroz	9230	(3000)	
„ Martigny	7690	(2500)	dann enge bis zu 600 F.
„ St. Maurice	15400	(5000)	

bis zum See.

Die angeführten Beispiele mögen hinreichen, das oben im Allgemeinen über die Verhältnisse der Breite der Thäler Mitgetheilte an einigen der bedeutendsten durch Zahlen anschaulicher zu machen.

Wir haben bisher öfter schon den bedeutsamen Unterschied zweier Arten von Thälern, der Längs- und Querthäler, hervorgehoben, ohne eine weitere Eintheilung derselben zu erwähnen. Man hat in verschiedener Weise schon versucht, weitere Unterabtheilungen zu machen, auch der Richtung nach. So hat v. Sonklar noch eine dritte Art als Diagonalthäler unterschieden und versteht darunter diejenigen Thäler, „welche mit der Längsachse des Gebirges einen sehr schiefen Winkel einschließen".

Wir haben schon S. 52 neben den Thälern eine andere Abtheilung von Hohlformen unterschieden und in Ermanglung eines besseren den zunächst einer bestimmten Form zugehörigen Namen Schlucht als gemeinschaftliche Bezeichnung gewählt; denn mit einer Ausnahme haben die noch übrigen Hohlformen die wesentlichen Eigenschaften der Schluchten.

Als gemeinsames Merkmal aller hiehergehörigen in der Sprache des Gebirgsbewohners mannigfache Namen führenden Formen haben wir das bezeichnet, daß sie nicht zwischen

verschiedenen Bergen oder Ketten sich hinziehen, wie die Thäler, sondern in die Berge, Ketten oder Stöcke selbst einschneiden, mehr oder weniger in den Rumpf derselben eindringen, ja selbst die Gipfel durchfurchen. Sie hängen oft mit den Thälern zusammen und gehen in diese über, so daß es in manchen Fällen schwer ist, eine scharfe Grenze zwischen beiden zu ziehen; in den meisten wird es jedoch nicht mehr Schwierigkeiten darbieten, diese Formen von den Thälern zu unterscheiden, als sich solche finden, wenn man den Anfang eines Thales, oder das Ende eines Berges zu bestimmen hat. Wer dabei im Auge behält, daß durch die Veränderungen, welche die Erdoberfläche vor Allem in dem Hochgebirge noch fortwährend erleidet, die Elementarformen des Bodens sich beständig umwandeln und in einander übergehen, wird es auch begreiflich finden, daß scharfe natürliche Grenzen auch hinsichtlich der Hohlformen nicht überall gezogen werden können.

Wir können an den von uns als Schluchten bezeichneten Hohlformen zwei in ihren Extremen sehr scharf geschiedene Arten von Bodenvertiefungen unterscheiden. Die einen haben das gemeinschaftlich, daß sie als Rinnen, Furchen, Spalten, Schluchten im engeren Sinne in die Berge eingeschnitten sich zeigen und nirgends auch nur eine kleine horizontale Fläche darbieten. Von einem jeden Punkte aus zeigen die Wände sowohl, wie der Boden starke Neigungen; über letzteren rieselt entweder beständig ein schwacher Wasserfaden oder ein Bächlein; zur Zeit rascher Schneeschmelze, wie nach heftigen Regengüssen bilden diese oder auch die gewöhnlich trockenen Furchen schäumende, donnernde Sturzbäche, die gewaltige Blöcke weit hinabtragen und oft arge Verwüstungen in Wäldern und Fluren anrichten. Die verschiedenen Grade solcher in den Bergkörper eingreifenden Vertiefungen führen, wenn sie seicht sind, in manchen Theilen des Gebirges den Namen Siefe; wühlen sie sich namentlich in das lockere Erdreich tiefer ein,

so bezeichnet man sie als Wasserriß oder Rachel. Wird sie noch tiefer und fließt beständig Wasser in ihr, so erhält sie den Namen Runse; bei etwas beträchtlicherer Breite derselben und wenn ihr Grund mit Geröllmassen bedeckt ist, wird sie zum Tobel. Die anderen noch gebräuchlichen Ausdrücke, wie Kluft, Schlucht, Schlund bedürfen keiner weiteren Erklärung.

Klüfte und Schlünde finden sich oft als Verbindungsglieder zweier Thalstrecken, sie sind dann als erste Stadien eines Querthales anzusehen. Oft mit ganz senkrechten, ja überhängenden Wänden bieten sie, namentlich in dem schroffen Gegensatze gegen die ohne merkliche Uebergänge an sie sich anschließenden Thalweitungen die großartigsten landschaftlichen Bilder: die Via mala in Graubünden, der Zemmgrund am Dornauberg sind die bekanntesten und wohl auch gewaltigsten Beispiele solcher zwischen zwei Thalweitungen vom Wasser in langer Zeit gleichsam eingesägter Felsenschnitte. Oft kommen solche Schluchten, in den Ostalpen als Klammen bezeichnet, unmittelbar vor dem Austritt eines Baches oder Flusses in die Ebene vor, wie die Taminaschlucht bei Ragatz, die Partnachklamm bei Partenkirchen und andere ähnliche.

Die zweite Art von Schluchten unterscheidet sich von den vorhergehenden wesentlich durch ihre Ausdehnung. Während die eben betrachteten nämlich alle nur nach zwei Richtungen, nach Länge und Höhe beträchtliche Ausdehnung erkennen lassen, zeigt sich die zweite Art, die wir unter dem Namen Mulden zusammenfassen wollen, nach allen drei Dimensionen von bedeutender Erstreckung. Je nach der Steilheit der Wände, welche diese Vertiefungen umgeben, und der Form ihres Bodens erscheinen sie als flachere Mulden, oder als Kessel und Trichter. Sie gehören zu den merkwürdigsten und bedeutsamsten Bodengestaltungen des Hochgebirges, indem die Entstehung großer Gletscher wesentlich von dem Vorhanden-

sein einer solchen Mulde in den höchsten Regionen abhängig ist. Für diese hat Agassiz den Namen Cirque, Circus, vorgeschlagen, insofern sehr passend, als sie häufig die Form eines Amphitheaters zeigen, freilich von Dimensionen, gegen welche selbst der Circus maximus von verschwindender Größe ist. Eines der interessantesten Beispiele solcher Muldenbildung

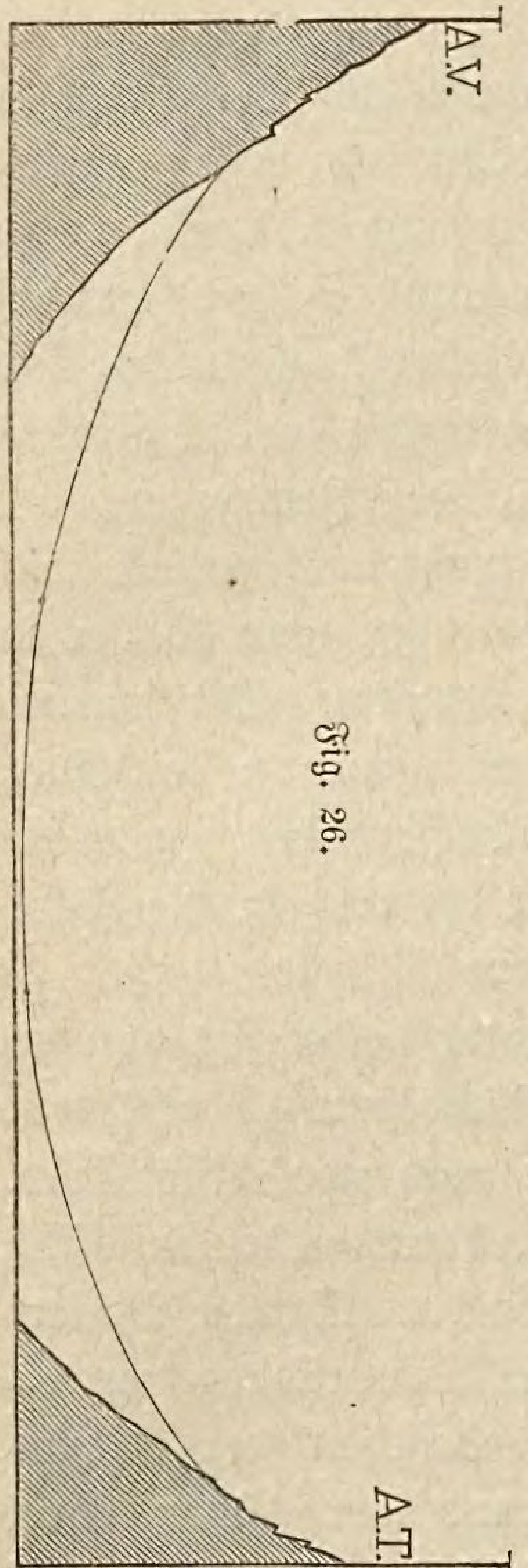


Fig. 26.

bietet der östliche Theil des Mont Blanc, wo nicht weniger als 4 solcher gewaltiger Mulden in einem Punkte, der Aig. de Triolet zusammenstoßen, deren Lage schon die oben Seite 22 mitgetheilte Fig. 2 bei Tr. deutlich erkennen läßt. Die in denselben angehäuften Schneemassen speisen die 4 Eisströme, von denen 2 als Glacier de Talèfre und Glacier d'Argentière nach Nordwest, die 2 andern als Glacier de Triolet und du Mont Dolent nach Südost sich ergießen. Der folgende Durchschnitt gibt die Form der größten dieser Mulden, des Glacier de Talèfre im Maßstabe von 1:50,000. Figur 26 zeigt den Durchschnitt von Nordwest nach Südost von der Aig. Verte (A.V.) zur Aig. de Talèfre (A.T.).

Die größte Länge dieser Mulde soweit sie von Schnee bedeckt ist, also von dem Fuße einer Wand zur andern beträgt 4400 m. oder 13544 Fuß, die Breite 2900 m. oder 8926 Fuß, die Tiefe vom Gipfel der Aiguille Verte bis zur tiefsten Stelle des Durchschnittes 1268 m. oder 3903 F. Noch größer ist die große Firnmulde

des Aletschgletschers, die von der Lötschenlücke bis zum Grünhorn eine Länge von 11000 m. oder 33862 F. und von dem Jungfrausattel bis an den Faulberg eine Breite von 7000 m. oder 21549 F. zeigt. Zuweilen reichen diese Circuse tief hinab und bilden dann meist das Ende eines engen Thales. Ein solcher gewaltiger Circus findet sich an dem Monte Rosa im Hintergrunde des Anzascathales bei Macugnaga, dessen Wände von allen Seiten schroff 2000 m. oder über 6100 F. bis zum Boden, der hier 1600 m. oder 4900 F. hoch liegt, abfallen. Noch großartiger zeigt sich eine ähnliche Form südöstlich von Bourg d'Oisans am Fuße des Grand Pelvoux „das Thal mißt bei 4 Stunden im Durchmesser und die Gebirge erheben sich rings um dasselbe zu Höhen von 10000—12000 F." (Studer). Nicht nur auf die Centralmassen der Alpen, denen die bisher erwähnten Beispiele angehören, beschränkt zeigen sich diese kesselförmigen Vertiefungen, auch in den Nebenzonen der Kalkalpen sind sie mit ihrer charakteristischen Form, wenn auch in kleinerem Maßstabe ausgebildet. Wir können es uns nicht versagen, die treffende Schilderung davon mitzutheilen, welche Gümbel von denselben in seinem in jeder Beziehung so reichen Werke, „Geogn. Beschreibung des bayerischen Alpengebirges" gegeben hat. Nachdem er die an den Gipfeln sich findenden Vertiefungen besprochen, fährt er fort: „Schon sind wir diesen Einschnitten abwärts folgend von den höchsten Gebirgskämmen herabgestiegen und vor uns breitet sich eine Vertiefung eigener Art aus, welche wegen ihres häufigen Erscheinens im Hochgebirge einer besonderen Betrachtung werth erscheint. Rings von mehr oder weniger hohen Felswänden überragt und eingeschlossen, nur nach einer Seite, dem Thale zu, frei, breitet sich ein weites Eis- und Schneefeld, oder wenn die Wärme des Sommers Herr geworden ist, ein Trümmermeer von Felsblöcken und Gesteinsfragmenten auf einer mehr oder

weniger verebneten Fläche aus. Zumeist finden sich solche Erscheinungen da, wo auf den höchsten Theilen des Gebirges mit der vorherrschend nach W.—O. ziehenden Kammbildung sich nahezu senkrecht gestellte, in Süd-Nord-Richtung verlaufende Rücken- und Spaltenaufstauchungen unmittelbar verbinden und bei benachbarter Stellung eine muldenförmige, anfänglich fast rechtwinklig begrenzte Tiefe zwischen sich einzwängen. Die hinabstürzenden Wände und Schutthalden erzeugen in ihnen meist theilweise eingeebnete und theilweise kesselförmig zulaufende Sohlen. Diese so umgestalteten Hochgebirgskessel, in der Sprache der Berge „Kahr" genannt, sind sichere Herbergen für den Schnee, welchen der Wind und Sturm von ihren Felshängen in ihren Schooß weht, und den die Lawinen massenhaft hinzuhäufen. Dadurch ist die Grundlage zu Eisfeldern und Gletschern da gegeben, wo die Wärme des Sommers nicht im Stande ist, den Vorrath des Winters aufzuzehren. Wohl gewähren solche Schneekahren durch die Kontraste der Färbung in Schnee, Eis und Fels und der weit ausgedehnten schneeigen Flächen neben den zackigen Felswänden entzückende Bilder, deren Reiz noch erhöht wird durch die Quellen und Bäche, welche das Schneefeld beleben, durch das frische Grün der Moose und der genügsamen Gemskresse, die am Rande des Eises sproßt und durch die Rudeln von Gemsen, welche hier die Sommerfrische halten. Schauerlich öde aber ist ein Felsenkahr, das des Winterschmuckes beraubt, todt und still, mit Tausenden von grauen, trüben Felsbrocken uns entgegenstarrt und nur auf kleinen Flecken ein bescheidenes Rasenplätzchen in sich schließt."

Diese, wie alle vorher betrachteten Hohlformen des Bodens, Mulden, Schluchten und Thäler sind meist von Wasser durchzogen. Sie führen uns so naturgemäß zu der Betrachtung der Verhältnisse des Wassers.

Hydrographie.

Jedem Bewohner des Tieflandes wird eine Eigenthümlichkeit der Alpen gegenüber dem ersteren auch bei einem flüchtigen Besuche auffallen, nämlich der große Reichthum an Wasser. Auf allen Seiten sieht er fließendes Wasser in kleineren oder größeren Massen, als Quelle, Bach und Fluß sich über den Boden bewegen oder über Felsen herabstürzen. Zu diesem fließenden Wasser gesellt sich das in zahllosen kleineren und größeren Becken ruhende Wasser der Seen, und einen nicht unbeträchtlichen Theil dieses Elementes sieht er in fester Gestalt als Schnee und Eis von den höchsten Spitzen wie lange Gewänder bis tief in die Thäler herabreichen. Indem wir uns die Betrachtung der in fester Gestalt auftretenden Wassermassen für später vorbehalten, fassen wir hier zunächst die Verhältnisse des flüssigen Wassers ins Auge und zwar als fließendes und als ruhendes, als Quelle, Bach oder Fluß und als See.

Die Quellen.

Wo flüssiges Wasser in den Boden eindringen kann und, nachdem es größere oder kleinere Strecken desselben durchzogen, seichter oder tiefer in denselben hinabgesunken ist, an einer niedriger gelegenen Stelle wieder zum Vorschein kommt und sich dauernd aus derselben ergießt, da bildet sich eine Quelle. Thau und Regen, schmelzendes Eis und Schnee können das Wasser der Quellen liefern und auch der härteste Fels zeigt Spalten und Risse, durch welche dasselbe seinen Weg findet. Wie die feinsten Wurzelfäserchen durchziehen oft solche dem bloßen Auge kaum sichtbare Spältchen das Gestein der Berge; wie jene sammeln und vereinigen sie sich zu kleinen Strängen und dickeren Stämmchen und bilden so

endlich die bald schwächeren, bald mächtigeren Röhren, denen die Quellen entströmen, deren Enden häufig durch kleine, dem Wasser bei seinem Austritte kein ernstliches Hinderniß bereitende Gesteinsfragmente und Sand verschlossen erscheinen. Da die Temperatur der Luft wie des Bodens mit der Höhe rasch abnimmt, die Berge sich immer mehr zuspitzen, so ist es begreiflich, daß über einer gewissen Höhe die Quellen immer seltener werden und schließlich ganz aufhören. Wo der Boden mit dicken Lagen von Schnee und Eis bedeckt ist, kann sich keine Quelle bilden, wenn auch unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen selbst auf den höchsten Gipfeln der Alpen zeitweise flüssiges Wasser diese Schneemassen durchdringt. Wie weit hinauf Quellenbildung möglich sei, läßt sich im Allgemeinen nicht genau bestimmen. Nach den Untersuchungen der Gebr. v. Schlagintweit dürfte die Grenze zwischen 8500 und 9000 Fuß zu setzen sein. Die höchste ihnen bekannt gewordene Quelle findet sich in einer Höhe von 8858 F. in einem Stollen der Goldzeche in der großen Fleuß in Kärnthen. Unter den an der Oberfläche der Erde erscheinenden ist eine Quelle der Salmshöhe bei 8223 F. die höchste, über die sich der Großglockner noch bis zu einer Höhe von nahezu 3500 F. erhebt.

Mit der Erniedrigung des Gebirges erniedrigt sich natürlich auch die Höhengrenze der Quellen, doch zeigen viele Beispiele, daß bei flach ansteigenden Bergen schon wenig Fuß unter dem Gipfel beständig fließende Quellen zum Vorschein kommen können. Da das Wasser, dem Gesetze der Schwere folgend, stets den Weg nach der Tiefe sucht, so kann nur da eine Quelle erscheinen, wo

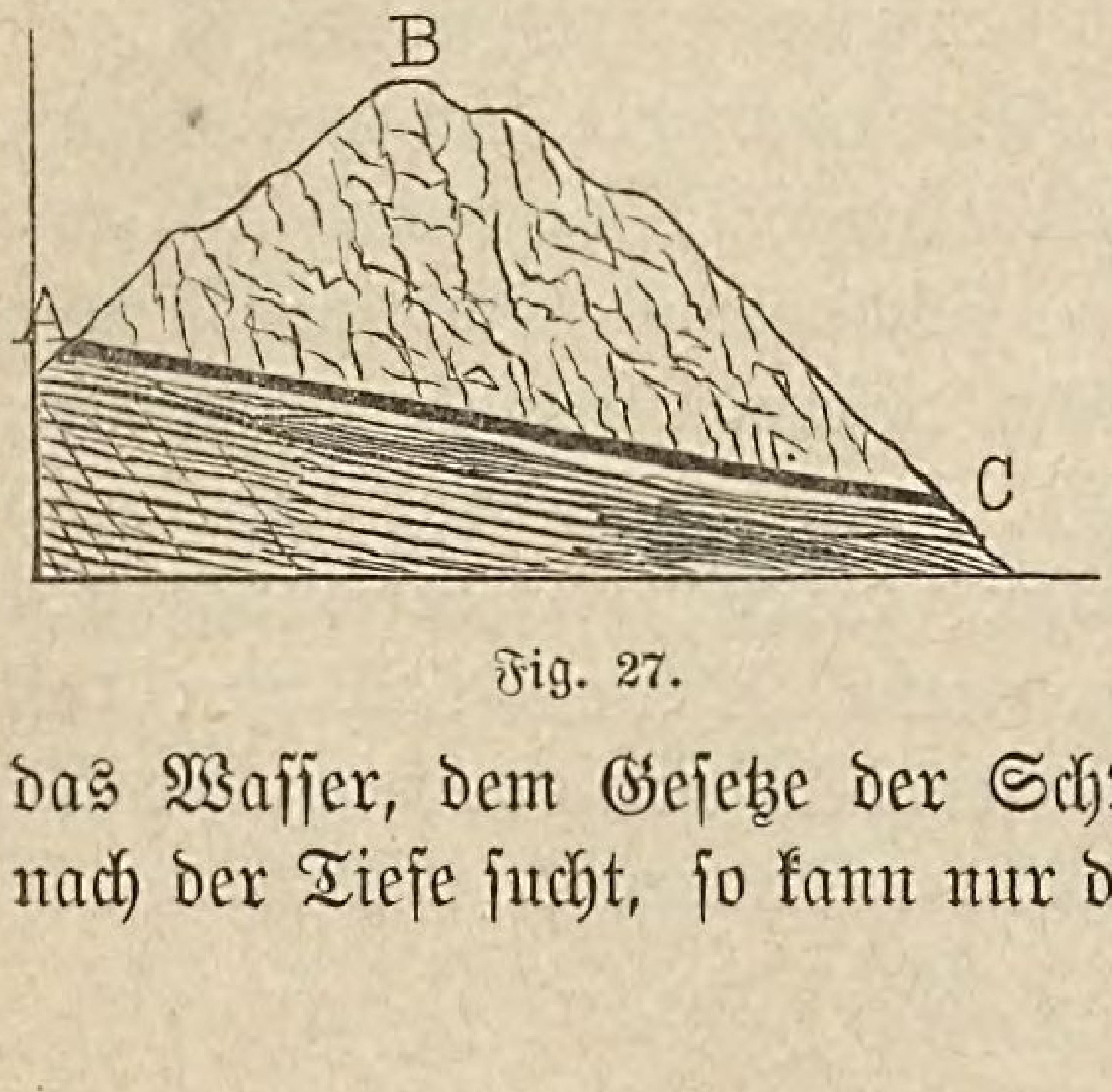


Fig. 27.

das Wasser durch die Natur des Bodens von weiterem Versinken und Eindringen in die Tiefe abgehalten wird. Stellt z. B. B einen Berg vor, der aus porösen oder zerklüfteten Gesteinen besteht, durch den sich eine Schichte wasserhaltender Massen, z. B. Thon oder Mergel A C hindurchzieht, so wird das atmosphärische Wasser auf dieser Schichte sich ansammeln und bei C als Quelle zum Vorschein kommen.

Man sieht daraus sofort, wie die Anordnung der verschiedenen Gesteinsmassen, ihre Lage und Beschaffenheit von dem größten Einflusse auf das Vorkommen der Quellen sind. Laufen z. B. wasserhaltende Schichten stark geneigt durch eine Bergkette hindurch, wie in Fig. 27 A C, so können auf der einen Seite eines Kammes zahlreiche Quellen sich finden, während sie auf der andern Seite ganz fehlen. Ist ein Gestein stark zerklüftet und reicht ohne wasserhaltende Zwischenlage bis unter die Thalsohle hinab, so werden sich auch in diesem Falle keine Quellen bilden. Die Beschaffenheit des Gesteines, welches vom Wasser durchzogen wird, ist ebenfalls von großem Einflusse auf die Reichhaltigkeit einer Quelle, indem nur dann sehr starke Quellen sich bilden, wenn ein Gestein vielfach zerklüftet, dem Wasser den Weg zur Tiefe leicht macht, ohne einen großen Theil desselben festzuhalten, wie es z. B. Sandstein und Sand thut. Der große Wasserreichthum der meisten in Kalkgebirgen zu Tage tretenden Quellen erklärt sich aus diesen, die Quellbildung fördernden Eigenschaften des Kalkes, starker Zerklüftung und geringer Bindekraft für das Wasser. Es bedarf wohl keiner Erwähnung, daß die Wege, welche das Wasser durch den Boden zu gehen hat, oft äußerst verwickelt und mannigfach gewunden sein müssen, auch in der Art, daß die Ausflußstelle höher liegt, als Punkte des Wasserlaufes, die von jener weit entfernt sind.

Fig. 28, in welcher die Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, wie in Fig. 27, zeigt uns ein solches Beispiel. Wir

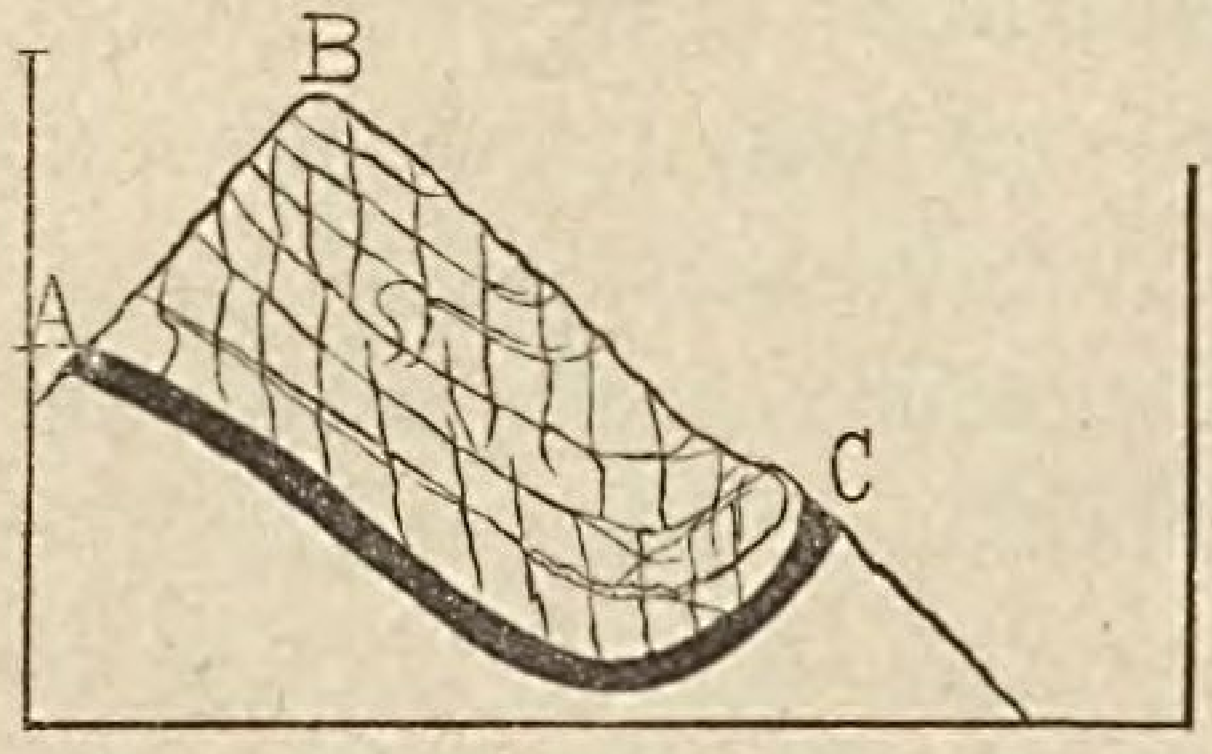


Fig. 28.

können natürlich die verborgenen Kanäle und Röhren nicht verfolgen, in welchen das Quellwasser sich bewegt, wir können aber aus manchen Zeichen deutlich erkennen, ob das Wasser aus der Tiefe oder von höheren Gegenden rasch herabkommt und zwar vorzugsweise aus der Temperatur derselben, hie und da auch aus den Bestandtheilen, welche wir in dem Wasser aufgelöst finden.

Die Temperaturverhältnisse der Quellen sind vielfach untersucht und vielfach diskutirt worden. Offenbar sind dieselben abhängig von der Anfangstemperatur des in den Boden eindringenden Wassers und der Temperatur der Schichten, durch welche es sich hindurchzieht. Erstere ist natürlich wechselnd wie die Temperatur der Luft; doch ist der Wechsel beim Wasser nicht so bedeutend, wie in der Luft. Auch der wärmste Sommerregen erreicht nicht die Höhe der höchsten Lufttemperatur und unter Null kann auch das Schmelzwasser des Schnees nicht heruntergehen. Die Temperatur des Bodens wiederum ist nur bis zu geringer Tiefe von den Temperaturverhältnissen der Atmosphäre abhängig. In einer Tiefe von 80—100 F. hören dieselben auf merkbar zu werden; die Temparatur bleibt in dieser Tiefe konstant und nimmt von da an mit der Tiefe stetig zu, im Mittel auf je 100 F. um 1 °C. Kommt daher das atmosphärische Wasser tiefer als 100 F. in den Boden, so wird es stets eine etwas höhere Temperatur zeigen als die mittlere Temperatur, welche es mitbrachte. Wie viel diese Temperaturerhöhung betrage, hängt ab von der Tiefe, bis zu welcher es eindringt, der

Zeit, welche es mit den wärmeren Gesteinen in Berührung war, und der Enge seiner Kanäle. Wir finden, da diese Verhältnisse sehr bedeutend wechseln können, alle möglichen Temperaturen an Quellen. Die oben genannte höchste Quelle im Stollen der Goldzeche in der Fleuß hat eine Temperatur von 0,8, die an der Salmshöhe von 2,7, bei anderen steigt die Temperatur bis nahe an 50°. Die wärmsten Quellen der Alpen sind die von Bormio 47,5° C., von Bad Gastein 47,8° C., Pfäfers 38° C.

Fließt kaltes Wasser von höheren Punkten, namentlich auch von geschmolzenem Schnee und Eis auf weiteren Spalten rasch abwärts, so kann es Quellen bilden, die eine Temperatur haben, welche merklich unter der mittleren Temperatur des Ausflußpunktes steht, deswegen können auch höher gelegene Quellen eine höhere Temperatur zeigen, als niedrigere.

Aus den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen der Temperatur höher gelegener Quellen scheint hervorzugehen, daß dieselben sämmtlich nicht weit in die Erdrinde eingedrungen sind, indem sie meist eine bedeutend niedrige Temperatur erkennen lassen, was diejenigen wohl beachten müssen, welche dieselben beim Vorbeiwandern zum Trinken benützen wollen. Schon zwischen 4000 und 5000 F. Höhe ist die durchschnittliche Temperatur der Quellen nicht höher als 6—4½° C., zwischen 5000 und 6000 hält sie sich zwischen 4½ und 3°, ist demnach auch hier etwas höher als die mittlere Jahrestemperatur ihrer Ausflußstelle, die in den östlichen Alpen in einer Höhe von 5800 Fuß nur noch 1,3° C. beträgt.

Bestandtheile der Quellen. Da kein Gestein absolut unauflöslich im Wasser ist, so ist es begreiflich, daß keine Quelle absolut reines Wasser enthält, wiewohl in manchen dem Urgebirge entspringenden der Gehalt an Mineralbestandtheilen eine verschwindende Größe ist. Wir nennen

eine Quelle erst dann eine Mineralquelle, wenn sie schon durch den Geschmack das Vorhandensein solcher mineralischer Stoffe erkennen läßt. Am leichtesten durch den Geschmack zu erkennen sind Eisen, Bittersalz oder Glaubersalz, Kochsalz, kohlensaure Alkalien, dagegen aber gar nicht zu schmecken ist der oft in größerer Menge vorhandene kohlensaure Kalk, Bittererde und Gyps. Auch Schwefelquellen sind sowohl durch den Geschmack wie durch den Geruch leicht zu erkennen, wie auch die Kohlensäure durch diese beiden Sinne und auch durch die lebhafte Entwicklung von Gasblasen sich rasch verräth. Die Alpen enthalten eine große Anzahl sehr heilkräftiger Quellen, die entweder nur durch die Wärme des Wassers als einfache Thermen, oder durch ihre Mineralbestandtheile wirksam sind.

Unter den ersteren erwähnen wir die seit uralter Zeit, angeblich seit dem 11. Jahrhunderte benützten Quellen von Pfäfers, die von Gastein und von Bormio, alle 3 durch die große Fülle des warm hervorbrechenden Wassers ausgezeichnet. Unter den eigentlichen Mineralquellen sind die bekanntesten die von St. Moritz, Tarasp, beides Säuerlinge mit Eisen, kohlensauren und schwefelsauren Alkalien, ihren Bestandtheilen nach zu den wirksamsten Heilquellen gehörend. Auch seit langer Zeit berühmt sind die Gyps und schwefelsaure Alkalien enthaltenden Thermen von Leuk. Eine große Anzahl von geringer Bedeutung können wir hier füglich übergehen, wie auch die mannigfachen Soolbäder, die in den an Salz so reichen nördlichen Nebenzonen existiren, von denen manche wie Reichenhall, Ischl eine große Berühmtheit erlangt haben und alljährlich Tausende von Leidenden anziehen.

Wie groß die Zahl der wasserreicheren Quellen sei, davon überzeugt man sich, wenn man auf eine genaue Karte, wie die Dufour'sche oder eine andere Generalstabskarte einen Blick wirft und die zahllosen, Wurzelfasern ähnlich sich aus-

breitenden Wasserlinien sich vergegenwärtigt, von denen jede einzelne sicher mehrere auf der Karte nicht angegebene kleinere Quellen aufnimmt. Diese Quellen und Quellchen bilden so zunächst kleine, dann größere Bäche und diese treten dann zu Flüssen zusammen, deren Lauf durch die jetzige Form der Thäler bestimmt ist und es uns meist auch leicht macht, den eigentlichen Stamm der zahlreichen Verzweigungen des Gewässers, der dem ganzen so vereinigten Wassersysteme mit Recht seinen Namen gibt, zu bestimmen und danach Haupt-, Neben- und Zufluß zu unterscheiden. Was die Neigungsverhältnisse dieser Rinnsale betrifft, so haben wir dieselben schon größtentheils bei Besprechung des Gefälles der Thäler und Schluchten besprochen. Nur eines bedarf noch einer weiteren Ausführung, was eben bei keiner Art Neigung des Bodens ohne Wasser zu Stande kommen kann, nämlich die Wasserfälle, eine derjenigen Erscheinungen, welche mit zu den am meisten charakteristischen des Gebirges gehören. Wir haben schon erwähnt, daß sie meistens da auftreten, wo eine Thalterrasse plötzlich wie über eine Stufe sich zu einer andern herabsenkt. Eine andere Art des Entstehens von Wasserfällen findet sich nicht selten da, wo kleinere Längsthäler in tiefer eingeschnittene Querthäler oder auch umgekehrt, letztere in erstere einmünden. Für die erstere Art liefern die schon erwähnten Wasserfälle des Gasteiner Thales Beispiele, für letztere können die Reichenbachfälle bei Meiringen als solche dienen. Dazu kommen noch die meist kleineren, schmelzendem Schnee und Eis ihren Ursprung verdankenden Fälle, welche sich über die Thalwände herabstürzen, von denen eine außerordentlich große Anzahl sich findet. Keines der Hochthäler oder Schluchten der Alpen möchte ganz ohne solche, oft von sehr bedeutenden Höhen niederkommenden Fälle sein. Ihre Wassermasse ist in der Regel eine geringe, nach den Jahreszeiten wechselnde, oft ganz versiegende. Die Zahl der

Wasserfälle der Alpen ist daher eine außerordentlich große; darunter befinden sich 250 große Fälle (v. Klöden). Häufig stürzen die Wassermassen nicht senkrecht die ganze Höhe herab, sondern absatzweise gleichsam von einer Stufe zur andern. Die Breite dieser Stufen ist oft sehr gering, so daß die Wasser sich hier nicht sammeln können, sondern sofort über die folgenden herabstürzen; dann erscheinen solche Fälle von Ferne betrachtet wie ein ungeheuerer Sturz; manchmal sind sie so breit, daß die zerstäubten Wassermassen sich aufs Neue vereinigen und rasend dahinjagen, als nähmen sie einen Anlauf zu dem folgenden Sprunge über die nächste Felswand. Durch die Mannigfaltigkeit dieser Verhältnisse erhält jeder der vielen derartigen Wasserfälle seine besondere Individualität und seine eigenthümlichen Reize. Bei den Angaben über die Höhe der Fälle ist das wohl zu beachten, indem häufig die Gesammthöhe aller Abstürze zusammen angegeben wird, während zur Vergleichung der Höhen nur die eines einzelnen Falles verwendet werden kann. Im Allgemeinen steht die Höhe der Fälle und ihre Wassermenge im umgekehrten Verhältnisse zu einander; je höher also ein Wasserfall, desto geringer ist seine Wassermasse und je größer die letztere, desto kleiner die Höhe. Beides ist wohl erklärlich; einmal können sich in beträchtlichen Höhen, wo allein hohe Abstürze vorkommen, noch keine sehr bedeutenden Wassermassen sammeln, dann vertiefen auch größere Wassermengen ihr Bett stärker, wodurch die Fälle niedriger werden müssen.

Wir haben nur von einer geringen Anzahl dieser Fälle genaue Höhenangaben; die folgenden Zahlen geben die bekannteren und zwar bei denjenigen, wo mehrere Fälle über einander vorkommen, die für einen derselben ermittelte höchste Fallhöhe oder das Mittel aus der Gesammthöhe aller einander folgenden. Der Höhe nach geordnet folgen sie in dieser Reihe auf einander:

	Par. F.	
1. Pissette (Sixtthal, Fuß des Buet)	1800	
2. Krimler Ache	1000	(im Ganzen 3 Fälle mit
3. Staubbach	942	2000 F. Gesammthöhe)
4. Staffelbach (Nordfuß des Tödi)	840	
5. Gastein	623	4 Fälle
6. Verpeilfall (Kauner Thal, Tirol)	300	9 Fälle zusammen 3300 F.
7. Handeckfall	225	
8. Reichenbach	200	im Ganzen 6 Fälle
9. Gießbach am Brienzer See	180	7 Fälle zusammen 900 F.
10. Tosafall (Val Formazza)	150	3 Absätze
11. Gollinger	140	2 Fälle zusammen 270 F.
12. Pissevache	120	
13. Rheinfall	60—70	

Die Menge des Wassers eines einzelnen Baches nahe seinem Ursprunge oder einer Quelle ist im Allgemeinen eine sehr geringe; nur in dem stark zerklüfteten Kalkgebirge finden sich hie und da Quellen, welche eine erstaunliche Fülle Wassers unmittelbar aus dem Boden zu Tage fördern; doch haben wir nur von wenigen genauere Maßangaben. Wohl die reichste aller Quellen ist die bei Vaucluse am Westrande der Alpen, die bei ihrem Hervorbrechen das Flüßchen Sorgue bildet. Nach Arago's Messungen liefert sie in einer Minute, wenn sie am spärlichsten fließt, 444 Kub. Meter Wasser, zur Zeit der größten Wasserfülle dagegen 1330 Kub. Meter oder für eine Sekunde berechnet 7,4 und 22,1 Kub. Meter. Eine ähnliche Wasserfülle haben nur noch die am Ende der großen Gletscher hervorbrechenden Bäche, die von dem Schmelzwasser dieser Eisströme gespeist, hinsichtlich des Wasservolumens be-

deutenden Schwankungen in den verschiedenen Jahreszeiten unterworfen sind. Leider haben wir sehr wenig Messungen derselben. Nach v. Schlagintweit wechselt die Breite der Gletscherbäche zwischen 12 und 30 F. und die Tiefe zwischen 1½ und 5 F. Ein solcher Bach von 30 F. oder 10 m. Breite, 3 F. oder 1 m. Tiefe und einer Stromgeschwindigkeit von 2 m. in der Sekunde würde in der Sekunde 20 Kub. Meter Wasser liefern, also ziemlich so viel als jene Quelle. Nach den Untersuchungen Schlagintweit's ist die Geschwindigkeit jedoch beim Austritte der Bäche aus dem Gletscher häufig eine geringere. Dieselbe hängt von der Neigung des Thales ab, auch von dem Zustande des Gletschers, ob er sich im Rückzuge befindet, oder ob er länger stationär geblieben ist oder vorrückt, weil davon die Gestaltung des Bettes des Gletscherbaches wesentlich abhängig ist. Für die Möll und die Oetz sind von dem eben genannten Forscher die Wassermengen bei ihrem Austritt aus ihren Gletschern bestimmt worden, darnach ergab die Möll nach ihrer Vereinigung des aus dem linken und dem rechten Arme des Pasterzengletschers hervorbrechenden Baches in 1 Minute 320 Kub. Meter oder 5,3 Kub. Meter in der Sekunde; die Oetz (Hintereis- und Hochjochgletscherbach) 181 Kub. Meter in der Minute, Oetz (Rofnerbach, aus Hintereis- und Vernagtgletscherbach gebildet) 218 Kub. Meter. Soweit der Augenschein ohne Messung ein Urtheil gestattet, werden die genannten Gletscher von anderen hinsichtlich der von ihnen gelieferten Wassermassen übertroffen; wenigstens für den Aletschgletscher, die Mer de glace und auch den Aargletscher wird das wohl zutreffen. Ueber die Gesammtmenge des Wassers eines Gletscherbaches im Laufe eines ganzen Jahres liegen gar keine Messungen vor; wir wissen nur, daß im Winter die Gletscherbäche viel schwächer werden, hie und da versiegen; wie viel aber für die Jahresmenge diese Verringerung betrage, darüber läßt sich gegen-

wärtig nichts aussagen. Auch über die Stromgeschwindigkeit der Bäche haben wir wenig genaue Untersuchungen, und wenig brauchbare Methoden, wo es sich darum handelt, die Geschwindigkeit eines rasch fließenden Gebirgsbaches zu messen. Das einfachste Verfahren bleibt immer noch das, an hineingeworfenen kleinen Holzstückchen die Schnelligkeit der Fortbewegung zu messen. Auch derartige Untersuchungen verdanken wir den Gebrüdern v. Schlagintweit. Bei ihrem Austritt aus dem Gletscher hat die Möll eine Geschwindigkeit von 3,5 und 3,9 F. per Sekunde in ihren beiden Armen. Nach der Vereinigung zeigen sie bei der Steinbrücke eine solche von 4,9 F., weiter abwärts an der Brücke beim Kohner 9,3 F., in der Thalenge zwischen Döllach und Pockhorn 10,1 F. Aehnliche Verhältnisse bietet die Oetz dar, beim Austritt aus dem Hintereisgletscher 4,6 F., oberhalb Sölden 10,8 F. Die Geschwindigkeit ist eine auffallend geringe, verglichen mit der, welche größere Ströme selbst in ihrem Unterlaufe erkennen lassen. Der Rhein hat bei Koblenz noch eine Schnelligkeit von 5 F., bei Düsseldorf von 4 und bei Emmerich von 3 F. Ein erwachsener Mann kann bei raschem Schreiten 5 F. in der Sekunde zurücklegen, so daß also namentlich thalabwärts ein Fußgänger mit einem Gebirgsbache so ziemlich gleichen Schritt halten könnte.

Indem immer mehr und mehr Bäche zusammentreten, bilden sie endlich in den Thälern größere Wasseransammlungen, die Flüsse. So mannigfach und chaotisch auch die Bergmassen vertheilt erscheinen, so zahllos die Wasserfäden wirr durcheinander zwischen ihnen sich zeigen, wie dies bei Betrachtung einer nur die Flüsse enthaltenden sog. hydrographischen Karte deutlich hervortritt, so einfach gestalten sich doch schließlich die Wasserlaufverhältnisse des ganzen Gebirges, indem sich nach und nach alles Wasser in wenigen Rinnsalen vereinigt. Trotz der großen Ausdehnung des ganzen Gebirges sammelt sich

schließlich die gesammte Wassermasse, welche auf demselben aus der Atmospäre sich verdichtet, wenn wir die kleineren Küstenflüsse im Westen und Osten unberücksichtigt lassen und die in der That auch mit dem Po theilweise sich vereinigende Etsch diesem zurechnen, in 4 großen Strömen: dem Rhein, der Donau, dem Po und der Rhone.

Wir wollen diese gewaltigen natürlichen Abzugskanäle etwas näher betrachten, zunächst aber noch einige allgemeine Erörterungen vorausschicken.

Unter Flußgebiet oder Quellgebiet eines Flusses versteht man denjenigen Theil der Erdoberfläche, von welchem alles fließende Wasser in den fraglichen Fluß gelangt. Seine Größe wechselt natürlich außerordentlich, sie wird in den bekannten zur Bestimmung von Flächenräumen in der Geographie gebräuchlichen Maßen angegeben, bei uns gewöhnlich in g. Quadratmeilen. Da alles Wasser stets von höheren nach tieferen Punkten sich bewegt, so stellt sich die Form eines solchen Flußgebietes stets als die eines großen und im Ganzen flachen Beckens dar, welcher Name auch hie und da statt „Flußgebiet" gebraucht wird, dessen Ränder allerdings mannigfach aus- und eingebogen und oft von sehr ungleicher Höhe sich zeigen. Die Grenzen zwischen zweien solcher Flußgebiete werden als Wasserscheiden bezeichnet. Ziehen wir nämlich an irgend einem beliebigen Punkte auf der Karte eine gerade Linie von einem Flußgebiet in ein anderes, so wird dieselbe stets einen Punkt schneiden, welcher auf dem in dieser Linie sich zeigenden Durchschnitte so liegt, daß alles Wasser, welches rechts von ihm auffällt, nach rechts fließt, während das links von ihm niedergehende Wasser in das zur Linken liegende Flußgebiet strömt. Diejenige Linie nun, welche alle diese Punkte eines Flußgebietes rings um dasselbe verbindet, heißt die Wasserscheide desselben. Sie folgt nicht nothwendig den höchsten Kammlinien eines Gebirges

und bewegt sich oft äußerst unregelmäßig zwischen den Bergketten, auf niedrigere Kämme von höheren überspringend. So geht z. B. die Wasserscheide zwischen Po und Rhone nur eine Strecke weit auf dem Mt. Blanc fort. Auf seiner östlichen Seite fällt dieselbe von der 11730 F. (3810 m.) hohen Spitze des Mt. Dolent plötzlich auf das verhältnißmäßig niedrige Joch des Col de Ferret zu einer Höhe von 7663 F. (2492 m.) herab und zieht sich gegen den großen St. Bernhard hin. In allen Hochgebirgen zeigen sich ähnliche Verhältnisse, die leicht erklärlich sind.

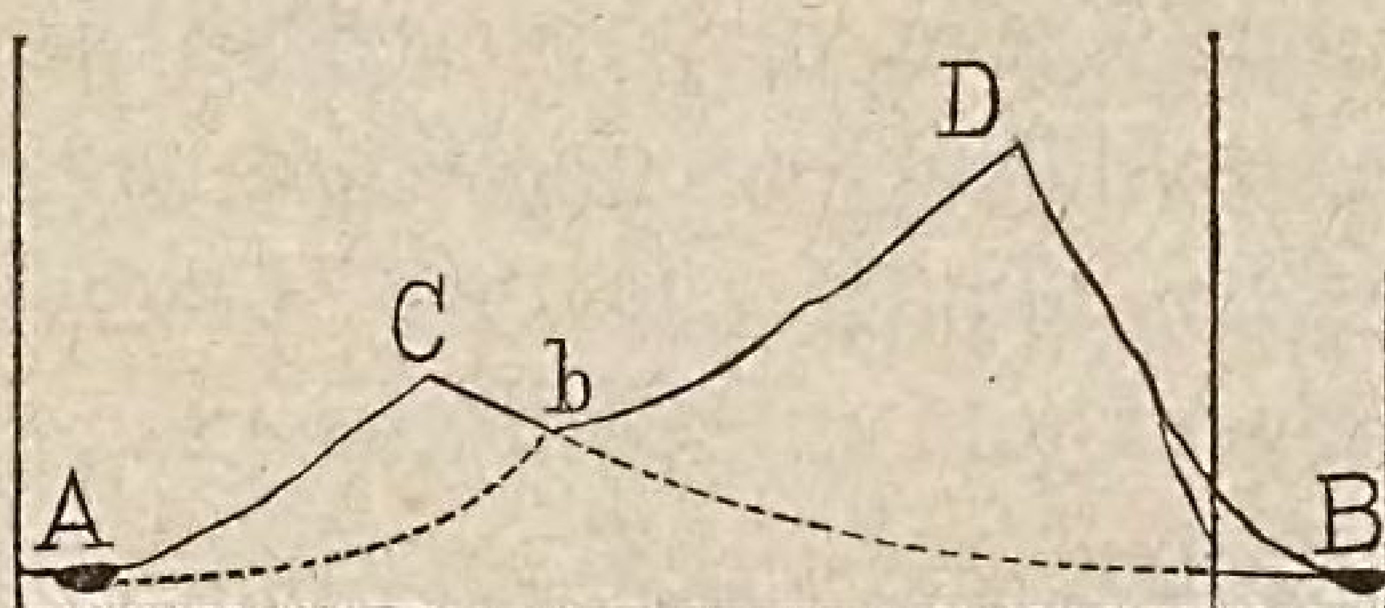


Fig. 29.

Es stelle z. B. Fig. 29 einen Durchschnitt durch eine Bergreihe zwischen den 2 Flüssen A und B dar. Die Wasserscheide wird auf den Punkt D fallen, wenn eine Rinne, welche das Wasser von b fortführt, um C herum nach A geht, dagegen auf den niedrigeren Punkt C, wenn eine solche von b nach B sich zieht. Die Beschaffenheit der Gesteine, die Richtung ihrer Schichten wird bald das eine, bald das andere Verhältniß zu Wege bringen. Nur äußerst selten kommt es vor, daß sich an einem Punkte keine bestimmte Grenzlinie zwischen 2 Flußgebieten angeben läßt, daß beide mit einander eine größere Fläche gemeinschaftlich haben. Das tritt dann ein, wenn auf der Höhe in die Wasserscheide sich ein See oder ein Sumpf einschiebt, der nach 2 Seiten hin das Wasser abfließen läßt. Das bekannteste und großartigste Beispiel der Art liefert die Communication des Orinoco mit dem Ama=

zonenstrom durch den Kasiquiare und Rio Negro. In den Alpen findet sich nur ein solches Beispiel. Nach der Dufour-schen Karte communicirt Inn und Rhein mit einander jenseits des Sertiger Passes. Dort finden sich in einer Höhe von 7951 F. (2585 m.) 2 kleine Seen, die mit einander in Verbindung stehen. das Wasser des kleineren geht durch das Val Sulsanna zum Inn, das des größeren durch das Val Tuors zur Albula und zum Rhein. Stellen, wo etwas Aehnliches durch eine sehr geringe Bodenveränderung Statt haben würde, finden sich noch hie und da. An diesen ist dann die Wasserscheide so wenig ausgeprägt, daß sie für das Auge an Ort und Stelle nicht bemerklich ist. So zeigt sich die Wasserscheide zwischen Inn und Etsch oberhalb der Malser Haide bei Reschen, ähnlich die bei Toblach zwischen Etsch und Drau als eine kaum mit Doppelneigung versehene Ebene.

Die Flußgebiete der 4 Hauptströme der Alpen.

Der Rhein dient vorzugsweise zur Aufnahme des Wassers, welches auf die Nordseite der Schweizer Alpen auffällt. Recht in der Mitte derselben entspringend wendet er sich in einem bedeutenden Längsthale nach Nordosten fließend bei Chur nordwärts, durchsetzt den Bodensee und bildet nun von Ost nach West in ziemlicher Entfernung vom Gebirge eine Schlinge, welche die vielen im Allgemeinen nach Norden gerichteten Rinnsale aufnimmt, die bis an den Jura hin sich in ihn ergießen und größtentheils zu 2 größeren Flüssen, der Thur und der Aar, vereinigt in ihn eintreten. Als der Hauptstrom ist offenbar der Vorderrhein anzusehen, der in einer Höhe von 7632 F. (2482 m.) entspringt*), bis zum Bodensee (1225 F. hoch) 6407 F. fällt, von da bis Basel

*) 3 Quellen, eine vom Piz Alto, eine vom See Toma und eine vom Baduz kommende, werden als Quellen des Vorderrheins bezeichnet.

(763 F. hoch) nur noch 462 F. Unter seinen Nebenflüssen erscheint zunächst als der bedeutendste der Hinterrhein, welcher aus dem großen Zapport- oder auch Rheinwaldgletscher in einer Höhe von 6810 F. (2216 m.) hervorquillt, Anfangs dem Vorderrhein parallel in einem Längsthale fließt, aus dem 2 der frequentesten Alpenpässe, der Splügen und der Bernardino, nach Italien führen, und dann oberhalb Andeer in ein Querthal tritt, das sich zu einer der engsten Schluchten des Gebirges, in der Via mala, zusammenzieht. Bei Reichenau in einer Höhe von 1803 F. (586 m.) vereinigt er sich mit dem Vorderrhein. Hier erreicht dann der Doppelstrom eine Breite von 170 F., die von Chur an bis zum Bodensee im Mittel auf 700 F. steigt, stellenweise aber auch bis auf 2260 F. sich ausdehnt. Als Mittelrhein, auch Medelser Rhein wird der bei Dissentis von dem Lukmanier herabkommende Bach bezeichnet, wie auch ein Nebenfluß des Hinterrheins, der aus dem Oberhalbsteiner Thal kommt und mit der Albula, die aus dem Davos das sog. Landwasser aufnimmt, sich vereinigt, den Namen Oberhalbsteiner Rhein führt.

Außer den genannten Nebenflüssen kommt noch eine große Reihe kleinerer von der rechten und linken Seite her dem Vorderrhein zu. Durchgängig sind die von Süden kommenden größer und länger, als die von Norden herabfließenden, welche meist mehr Wildbächen gleich mit sehr starkem Gefäll aus engen Schluchten und kurzen Thälern hervorstürzen und oft bedeutende Verheerungen durch die fortgewälzten Schuttmassen verursachen. Gegen 60 solcher Zuflüsse kommen bis zu seiner Vereinigung mit dem Hinterrhein dem Vorderrhein zu; unterhalb ihrer Vereinigung bis zum Bodensee sind die wichtigsten Zuflüsse die Plessur (bei Chur), die Landquart aus dem Prättigau durch ein enges Felsenthor hervorbrechend und die ebenso aus einer noch engeren Schlucht dem Rheine zueilende Tamina. Unterhalb

des Bodensees ist es zuerst die Thur, welche die Gewässer des Appenzeller Landes, des Thurgaues und von St. Gallen dem Rheine, zuführt. Ihr folgt der größte Nebenfluß des Rheines, die Aar, welche kurz vor ihrem Eintritt in diesen Strom die Gewässer von Reuß und Limmat in sich aufnimmt.

Die Aar entspringt ebenfalls im Centrum der Schweizer Alpen aus dem Aargletscher (6957 F. hoch). Durch das enge, von alten Gletschern vielfach bearbeitete Haslithal, über den Handeckfall hinab sich stürzend, erreicht sie bald bei Meiringen ein ebeneres und weiteres Thal. Ihre Richtung ist bis hieher der des Rheines ziemlich entgegengesetzt, im Allgemeinen nach Nordwest gerichtet. Durch den Brienzer und Thuner See hindurch, in welchem die ungestüm daherbrausenden Lütschinen aus Grindelwald und Lauterbrunnen herabkommend sich mit ihr vermischen, wendet sie sich noch weiter nach Westen, dann durch den Wall des Jura zu einer Wendung gezwungen, strömt sie diesem parallel nach Nordosten. So bilden Aar und Rhein eine gewaltige Schlinge, in der alles die Nordgehänge der Schweizer Alpen verlassende Wasser gesammelt wird.

Auch dieses sammelt sich vorher wieder zu 2 größeren Adern, der Reuß, die zwischen Rhein und Aar entspringt, deren Lauf wir schon weiter oben näher betrachtet, und die Limmat oder Linth, wie sie in ihrem Oberlaufe heißt. Diese entspringt aus den Firnmassen des Tödi, der Sandalp und dem Bifertengletscher und bildet mächtige Wasserfälle oder drängt sich durch enge Schluchten von großer malerischer Schönheit. In früheren Zeiten verwüstete sie weit über die engeren Strecken des Glarner Thales hinaus die Gegend, bald mit Geröll sie überschüttend, bald ausgedehnte sumpfige Stellen hinterlassend; seit ihr Escher von der Linth als unschädlicheren Tummelplatz den Wallenstädter See angewiesen, fließt sie aus diesem ruhig und friedlich dem Züricher See zu.

Sehen wir nach diesem kurzen Ueberblick des Rheinsystemes noch den Verlauf der Wasserscheide an, so finden wir vom Ursprunge beginnend dieselbe nach Südosten laufend, wo sie die Wasser zwischen Rhein und Po theilt; Lukmanier, Bernardin, Splügen sind ihre Grenzen. Bei letzterem wendet sie sich stark nach Süden bis in die Nähe von Chiavenna, dann schwach nördlich nach Osten über den Septimer, in dessen Nähe die Flußgebiete des Po durch die Adda, des Inn und des Rhein sich berühren, zum Julier, hält sich dann nahe dem Inn und folgt diesem Strome über die Selvretta, den Fermontpaß zu den Quellen der Ill, umgeht in einer schmalen Schlinge den Lechursprung bis an den Ursprung der Iller, von da nordwestlich an den Bodensee sich wendend, an dessen Nordseite sie das Alpengebirge verläßt. Nach Westen von dem Ursprunge des Rheins an zieht sie sich über den Gotthard zur Furka, von da bogenförmig nach Norden, in einer schmalen Schlinge den Rhonegletscher umfassend, zur Grimsel. Von dort bildet die hohe Mauer der Berner Alpen, Finsteraarhorn, Jungfrau, Breithorn die Wasserscheide zwischen Rhein und Rhone über den Gemmipaß bis zu den Diablerets, macht hier einen Winkel entsprechend dem der Rhone bei Martigny, wendet sich wie diese nach Nordwesten um den Genfer See und geht dann, ebenfalls die Alpen verlassend, auf den Jura über.

Die Größe des alpinen Theiles des Flußgebietes des Rheines beträgt nach meinen Messungen 475 g. Q. M.; das der Aar, die auch einen Theil des Wassers vom Jura erhält, wird zu 316, der Reuß zu 160 und der Limmat zu 43,7 Q. M. angegeben.

Der Rhein soll bei mittlerem Wasserstand 8333 ⅓ Kub. F. Wasser in jeder Sekunde in den Bodensee, 6000 bei niederem Wasserstand führen; da ein Jahr 31‘536000 Sekunden hat, würde dies für ein Jahr im Mittel 262800 Millionen er-

geben oder nahezu 1/9 (8,8) der bei Emmerich aus Deutschland in einem Jahre austretenden Wassermasse.

Der zweite größere Strom, welcher das Wasser der Alpen sammelt, und zwar den größeren Theil des nach Norden und Osten strömenden, ist die Donau, die ganz und gar außerhalb der Alpen sich hält, dieselben aber auch im Norden und Osten in wechselnder Entfernung umgibt. Die beiden größten aus den Alpen ihr zukommenden Flüsse sind der Inn und die Drau.

Des Inns Ursprung wird gewöhnlich in den Silser See (5510 F. hoch) verlegt. Von links und rechts her empfängt er Anfangs nur kleinere Bäche, da das Rheingebiet und das des Po in der Adda und der Etsch das seinige stark einengen. Der erste bedeutendere Bach von rechts ist der einen Theil der Berninagewässer ihm zuführende Flatzbach, dem bei Zernetz der Spölbach folgt. Erst wo er das Unterengadin verläßt, breitet sich sein Flußgebiet aus und nun kommen bedeutendere Flüßchen ihm zu. Von rechts aus dem Kaunzer-, Pitz- und Oetzthale die Gletscherwasser von den gewaltigen Eismassen der Oetzthaler Gebirgsgruppe, dann aus dem Zillerthal der Ziller. Weiter östlich sammelt sich das die Nordseite der Tauerngruppe verlassende Gewässer zuerst in dem gemeinsamen Rinnsale der Salzach, die ähnlich der Aar erst außerhalb des Gebirges sich mit ihrem Hauptstrome vereinigt. In dem zwischen Salzach und Inn gelegenen Gebiete haben sich noch 2 bedeutendere Gebirgswässer, die Kitzbühler den Chiemsee durchströmende Ach und die Saalach, entwickelt.

Unbedeutend sind dagegen alle von der linken Seite in den Inn eintretenden Gewässer, mit einziger Ausnahme der aus Trisanna und Rosanna gebildeten bei Landeck mit ihm sich vereinigenden Sanna, welche die Wässer des Paznauner- und Stanzer- oder Rosannathales sammeln. Sonst hält sich

die Wasserscheide zwischen ihm und den direkt der Donau zueilenden Flüssen, wie Lech, Isar u. a., so nahe seinem Thale, daß ähnlich wie im oberen Theile des Vorderrheins nur wenig Wildbäche sich nach Süden ihm zuwenden können.

Gehen wir von seinem Ursprung aus, so sehen wir die Wasserscheide zwischen ihm und Po über die Bernina sich hinziehen, dann, die Quellen der Adda in einem nach Norden gerichteten Bogen umgebend, läuft sie oberhalb der Malserhaide bei Reschen zu der schon erwähnten kaum wahrnehmbaren Scheide zwischen Inn und Etsch, steigt dann auf die Oetzthaler und Stubayer Gebirgsgruppe, senkt sich wieder zum Brennerpaß herab, hebt sich dann wieder auf die Kette der Tauern, hier noch eine Zeit lang mit der Etsch, dann mit der Drau in die Gewässer dieser Gebirgsmasse sich theilend und wendet sich dann um die Quellen der Mur und Ens, nach Norden dem Laufe der Salzach folgend und nur wenig von dieser sich entfernend. Nahe bei Salzburg geht sie nordöstlich zwischen Waller- und Zellersee hindurch und läuft dann mit einigen Windungen nördlich bis nahe an die Donau bei Passau.

Auf seinem linken Ufer hat sie zunächst die schon beim Rheingebiet geschilderte Grenze mit diesem gemein bis zur Lechquelle und folgt dann dem Zuge der nördlichen Kalkalpen, stets nahe dem Thale sich haltend bis zum Achensee, an dessen östlicher Seite sie norwärts sich wendet und zwischen dem Tegernsee und der Isar sich in die bayerische Hochebene senkt. Auf dieser verläuft sie nördlich bis zu dem Ursprunge der Vils und von da an in nordöstlicher Richtung bis Passau.

In ähnlicher Weise wie der Inn einen Theil des Wassers sammelt, welches aus den Alpen nach Norden zur Donau sich ergießt, vereinigt die Drau einen großen Theil der nach Osten abfließenden Gewässer. Nicht weit von Toblach in einer Höhe von 3800 F. entspringend, fließt dieselbe in einem

dem Südabhange der hohen Tauern folgenden Längsthale, erst weit außerhalb der Alpen die Donau erreichend. Von rechts wie von links gesellen sich ihr bald bedeutende Bäche und kleinere Flüsse zu, von der Tauernkette zunächst die Isel, welche das von der Dreiherrnspitze, dem Großvenediger und einem Theil des Großglockners herabkommende Wasser aus verschiedenen Schluchten sammelt und bei Linz in einer Höhe von 2036 F. in die Drau mündet. Ihr folgt die Möll, aus dem Pasterzengletscher entspringend und bei Möllbruck in einer Höhe von 1706 F. die Drau erreichend, und der Liserbach, der bei Spital (1547 F. hoch) einmündet.

Nahe den Quellbächen der Möll und des Liser entspringt die Mur, der größte Nebenfluß der Drau. Sie sammelt das Wasser der Radstädter Tauern und der Steirischen Alpen und wendet sich ebenfalls in einem Längenthale nach Nordosten bis Bruck (1393), von wo sie schon nahe dem Rande der Alpen in mannigfachen Windungen die Richtung nach Südosten einschlägt und erst nach einem langen Laufe in Ungarn die Drau erreicht.

Von Süden her ist nur die Gail von etwas beträchtlicher Größe, die in einem etwas breiteren Längenthale unterhalb Villach in die Drau mündet.

An Größe der Drau kaum nachstehend ist die Sau. In zwei Armen, der Wurzener und der Wocheiner Sau, welche den Terglou (5794 F.) von Nordwest bis Süd umfassen, beginnt sie ihren Lauf schon nahe dem Südostende der Alpen und tritt schon bei Krainburg in eine große Thalweitung, die nur noch 700 F. über dem Meere liegt, und in die viele die Grenze der Alpen an dieser Stelle verlegen. Nur wenige Zuflüsse kommen ihr daher aus dem Alpengebirge zu.

Nördlich von der Drau haben wir noch als Alpenflüsse, die der Donau angehören, die Enns und die Traun zu erwähnen.

Die erstere entspringt am Anfange der Radstädter Tauern zwischen Rothhorn (864 F.) und Hochbleiskopf (7114 F.) mit mehreren Quellen, fließt zunächst gerade nach Norden und dann nur durch die Kette der Tauern geschieden, der Mur parallel in einem rasch sich erweiternden Längsthale nach Nordosten bis Admont (2001 F.). Von da dringt sie wieder nach Norden und Nordwesten sich umbiegend in das Gebirge ein und verläßt dasselbe bei Steyer, bald darauf die Donau erreichend.

Die Traun endlich sammelt das Wasser zwischen Enns und Salza, namentlich das den Seen des Salzkammergutes entströmende, und mündet oberhalb der Enns nahe bei Lienz in die Donau.

Der Theil des Donaugebietes, welches zwischen dem Inn und dem Rhein das Wasser ableitet, gehört nur zum kleinsten Theile den Alpen an. Die Iller, die Wertach, der Lech, die Ammer, die Isar mit der Loisach nehmen den größten Theil der Gewässer der Allgäuer und Bayrischen Alpen auf und führen es nach einem längeren Laufe durch die Ebene der Donau zu. Den längsten Weg im Gebirge legt der Lech zurück. Oestlich von Bludenz am Südfuß der 8490 F. hohen Rothen Wand auf der Formarina-Alp (5741 F. hoch) entspringend, verläßt er nach einem Laufe von 11 3/4 g. M. bei Füßen in einer Höhe von 2421 F. das Gebirge, um nach einem weiteren doppelt so langen Laufe (24 g. M.) die Donau zu erreichen. Nächst dem Lech hat die Isar noch einen etwas längeren Lauf im Gebirge. Am Haller Anger (5500 F. hoch) sind ihre Quellen. Bis Tölz (1969 F.), wo sie das Gebirge verläßt, fällt sie 3531 F. Sie hat bis dahin 11 1/2 g. M. zurückgelegt.

Die Iller, der westlichste größere den Alpen entstammende Zufluß der Donau, entsteht aus 2 Bächen, der Stillach und der Breitach, erstere entspringt 4480 F.

hoch am Haldenwangerspeicher, letztere bei Obergenschel (5187 F. hoch). Nach einem Laufe von 3 ¾ und 3 g. M. vereinigen sie sich in einer Höhe von 2325 F. Bei Kempten 6 M. unter ihrem Zusammentritte in einer Höhe von 1994 F. hat die Iller das Gebirge verlassen und legt von da noch 14 M. bis zur Donau zurück.

Ueberblicken wir nach dieser kurzen Uebersicht über die einzelnen Theile desselben das Donaugebiet nach seinem ganzen Umfang, so sehen wir zunächst seine Grenze im Westen mit der des Rheines bis auf die Nordseite des Bodensees zusammenfallen, von wo sie dann auf Schwarzwald und schwäbischen Jura übergeht. Im Süden fällt sie mit der schon angegebenen Linie, welche das Flußgebiet des Inn gegen das der Etsch abgrenzt, zusammen und folgt dann dieser Grenzlinie bis zur Dreiherrenspitz, von wo sie rasch zum Toblacher Feld abfällt, um sich südlich von der Gail auf die sie begleitende Gebirgskette zu schwingen, und bildet am Ende derselben eine schmale Schlinge nach Süden, über Tarnis hinaus. Von da geht sie über den Terglou, von dem aus sie nach Südosten um den Zirknitzer See herum und die Quelle der Kulpa nördlich von Fiume in das dalmatinische Küstengebirge verläuft, nur einen schmalen Saum derselben frei lassend.

Das Flußgebiet des Po. Der Po ist dadurch von den anderen Hauptströmen der Alpen unterschieden, daß er ganz außerhalb derselben liegt und nur mit seinen Wurzeln in dieselben eingreift, dann aber auch seiner ganzen Länge nach von den Alpen begleitet, an seinem oberen Ende selbst bogenförmig von denselben umgeben ist. Sein Lauf ist am wenigsten gekrümmt, seine Zuflüsse alle kürzer als die der 3 übrigen; in gleichen Entfernungen von dem Gebirge ist er viel tiefer liegend, als die Rinnsale von Rhein, Rhone und Donau. Nach einem Laufe von nur 5 g. M. ist er zwischen Turin

und Saluzzo (bei Carde) schon bis auf 974 F. herabgestiegen, dieselbe Höhe, welche der Rhein bei seiner Vereinigung mit der Aar zeigt, bis zu welchem Punkte derselbe bereits einen 8 mal längeren Weg, 40 g. Meilen, zurückgelegt hat. Zwischen den Alpen und dem Apennin eingeschlossen bildet sein Flußgebiet eigentlich ein einziges Thal, das von Anfang bis zu Ende an Breite wenig zunimmt und ziemlich einfache Grenzlinien darbietet. Als die Quelle des Po wird der Ursprung des am Nordabhange des Mte. Viso hervorbrechenden Baches bezeichnet. Oestlich und südöstlich sich wendend gelangt er nach kurzer Zeit in die Ebene, wo eine große Anzahl kleiner Gebirgsflüsse, die ihm von ihrem Ursprunge an parallel liefen, allmälig ihn erreichen. Bis Turin nach Norden fließend wendet er sich dann nach Osten und strömt in vielen kleinen Windungen zwischen Alpen und Apenninen, rechts und links eine große Zahl kleinerer und größerer Flüsse aufnehmend, dem Adriatischen Meere zu. Auch von diesen treten häufig mehrere zu einem gemeinschaftlichen Stamme zusammen. Aus den Alpen sammelt sich so das Gewässer der Ligurischen und Seealpen zum Tanaro, der unterhalb Alessandria den Po erreicht; dessen bedeutendste Adern sind die Bormida und Stura. Vor Turin noch kommt aus den Cottischen Alpen die Maira und bei dieser Stadt die Dora Riparia, in deren Thal ober Susa der Weg sich spaltet zu den berühmten Pässen über den Mt. Cenis nach dem Thale des Arc und Grenoble und über den Mt. Genèvre in das Thal der Durance nach Briançon. Aus den Grajischen Alpen folgt dann bald der kleinere Orco und die größere Dora Baltea, welche am Mt. Blanc entspringend unter allen Nebenflüssen des Po am längsten im Gebirge sich hält, indem sie von ihrem 20 M. langen Laufe 15 bis Ivrea, wo sie in die Ebene tritt, zurückgelegt hat. Die Dora nimmt alle die kleineren Gewässer der Penninischen Alpen auf, die zwischen Mont Blanc und

Monte Rosa nach Süden abfließen. Ein Theil des letzteren liefert seine Wassermassen zu der kleinen Sesia, die östlich abfließenden gehen zum Tessin, dem zweitgrößten Nebenflusse des Po. Mit seinen Quellwurzeln greift er zwischen die Quellgebiete der Rhone, der Reuß, des Vorder- und Hinterrheins ein und hat von allen Strömen der Alpen das stärkste Gefälle. Er entspringt aus 2 Quellen, deren eine 6400 F. hoch unter dem Nüfenen-Paß liegt, während die letztere östlich vom Gotthard-Hospiz 6870 F. sich befindet und in einer Reihe von Kaskaden durch die Tremolaschlucht sich herabstürzt. Bis Airolo ist dieser Quellfluß um 3682 F. auf eine Weglänge von 1½ M. (genau 33800 F.) herabgestürzt, also 10,9 auf 100 F. Bis zu dem 606 F. hoch gelegenen Lago Maggiore fällt der Tessin demnach 6264 F., während die Reuß auf ihrem wenig kürzeren Lauf zum Vierwaldstädter See 5333 F. fällt. Nahe der westlichen Quelle des Tessin entspringt der Rio Toce oder Tosa, der durch das Val Formazza hinab, den prächtigen Tosafall bildend, die Gewässer vom Simplon und Monte Rosa in den Lago Maggiore führt; von links her nimmt der erstere noch die vom Bernardino herabkommende wilde Moësa auf. Zwischen den genannten eilt noch eine Zahl höchst reißender Bergwässer wie die Maggia dem Lago Maggiore zu, aus dessen südlichem Ende der Tessin hervortritt, um bei Pavia sich in den Po zu ergießen.

Aehnlich wie der Lago Maggiore als ein Sammelpunkt für eine Reihe von Beiflüssen des Tessin dient, bildet der benachbarte Comersee einen solchen für den größten Nebenfluß des Po, die Adda. Ganz zu Italien gehörend entspringt sie nordwestlich von Bormio, wendet sich etwas südwestlich dem herrlichen Val Tellina (Veltlin) zu, das sie von Osten nach Westen bis zu dem See durchzieht. Von Norden her erhält sie ebenfalls ziemlich viele reißende Bergwässer, namentlich die von dem Berninastocke herabfließenden; auch der Ortles

sendet ihr einige größere Wasser zu. Der bedeutendste Nebenfluß ist die Maira, zu der sich die vom Splügen herabkommenden Gewässer gesellen. Von geringerer Größe sind die beiden folgenden wichtigeren Nebenflüsse des Po, der Oglio zwischen Ortles und Adamello entspringend und den Lago d'Iseo durchströmend, und der Mincio, welcher aus dem Gardasee hervorkommt.

Die rechtsseitigen Nebenflüsse des Po, die unterhalb des Tanaro in denselben einmünden, kommen alle von dem Apennin und bleiben demnach außerhalb unserer Betrachtung.

Außer dem Po fließt noch eine große Anzahl kleinerer Ströme der Adria zu. Etwas längeren Lauf hat nur die Etsch. In den eigentlichen Centralalpen nördlich vom Ortles, westlich von der Oetzthaler Gebirgsgruppe in der merkwürdigen Einsattelung oberhalb der Malser Haide entspringend wendet sie sich zwischen den beiden genannten Gebirgsstöcken erst südlich, dann östlich. Sie sammelt auf diesem Theile ihres Laufes das Wasser von diesen und den weiter östlich gelegenen Theilen der Centralalpen. Von Norden und Osten her kommt ihr durch die Eisak, welche die Rienz aufnimmt, ein großer Theil der in südlicher Richtung von den Zillerthaler Gebirgen und den Tauern abfließenden Wassermassen zu. Ober Trient kommt aus dem Fleimser Thal links der Aviso, rechts der Nos. Bei ihrer Vereinigung mit der Eisak wendet sich die Etsch südlich, an der Ostseite des Gardasee, durch einen schmalen Rücken von demselben getrennt, vorbeifließend, nimmt an dessen Südende die Richtung nach Osten, um nach einer abermaligen Biegung nach Südost in westöstlichem Laufe wenig ober der Mündung des Po und mit diesem selbst sich theilweise vermischend das Meer zu erreichen.

Ihre Länge bis zum Meer ist 45 g. M. Oestlich von ihr findet sich noch eine Reihe von Küstenflüssen von geringerer Bedeutung, welche zwischen dem Quellgebiet der Etsch und

der Sau das Wasser der Alpen dem Meere zuführen. Die größeren sind von Süd nach Nord einander folgend Brenta, Piave, Tagliamento und Isonzo.

Der letzte der 4 Hauptströme der Alpen ist die Rhone, deren Lauf bis zum Genfer See wir schon oben betrachtet haben; sie hat ihre Quellen neben dem Gletscher 5330 F. hoch. Eingeengt zwischen den Quellgebieten des Rhein und des Po bleibt das ihrige bis zum Genfer See hin ziemlich schmal, von da an breitet es sich rasch aus. Kurz nachdem sie den Genfer See verlassen, kommt ihr als erster größerer Fluß die von den Gletschern des Mt. Blanc genährte Arve zu, und nachdem sie sich nach Süden gewendet, bringen ihr Isère und Durance neben einer ziemlichen Anzahl kleiner Gebirgsströme sämmtliches Gewässer zu, welches dem Westrande der Alpen zwischen Genfer See und Mittelmeer entströmt. Nur ein paar kleine Rinnsale gehen direkt von dem Südrande der Alpen in das Mittelmeer. Sehen wir von diesen letzteren ab, so ist im Alpengebiete das Quellgebiet der Rhone ganz von dem des Rhein oder des Po begrenzt, ähnlich wie die Donau auch nur mit 2 der andern Hauptströme concurrirt, während Rhein und Po mit allen übrigen zusammenstoßen. Rhone und Donau haben auch sonst manche Analogie, die noch größer wird, wenn man von der Namengebung absehend die Saone als den Hauptstrom gelten läßt. Dann verhält sich die Rhone im Gebirg zu dieser, wie Inn zur Donau und es bietet sich noch eine große Fülle analoger Verhältnisse, die C. v. Ritter*) ausführlicher entwickelt hat.

Die Seen.

Die Quellen wie die Flüsse der Alpen haben uns schon oft genöthigt, der Seen zu erwähnen, aus oder durch welche

*) C. v. Ritter, Europa. Herausgeg. von Daniel.

dieselben häufig fließen. Sie sind von großer Bedeutung für die Hydrographie der Alpen und bedürfen daher noch einer nähern Betrachtung.

Man hat bei der großen Zahl der alpinen Seen und bei der nicht geringeren Verschiedenheit ihrer Verhältnisse nach Lage, Größe, Gestalt und Umgebung verschiedene Eintheilungen derselben vorgenommen. Bei den meisten dieser Eintheilungen spielt die Vorstellung über die Entstehung der Seen eine wichtige Rolle. Da diese jedoch selbst noch sehr im Dunklen ist, so dürfte es sich empfehlen, vor der Hand noch von diesem Eintheilungsgrunde abzusehen. Dann empfiehlt sich als die natürlichste die auch von Rütimeyer als die berechtigste bezeichnete in Randseen und Bergseen, mit der zugleich die in große und kleine zusammenfällt.

Die Randseen umfassen alle diejenigen großen Seen, welche am Rande der Alpen, gar nicht oder nur wenig in die Berge eingreifend, angetroffen werden. Sie liegen alle in geringer Höhe über dem Meeresspiegel.

Als Bergseen werden diejenigen bezeichnet, welche meist von sehr geringer Ausdehnung in beträchtlicher Höhe über dem Meeresspiegel bis zu den Höhen, wo flüssiges Wasser sich erhalten kann, angetroffen werden, über die sich im Allgemeinen wenig Gemeinsames sagen läßt.

1. Die Randseen.

Ein Blick auf die Karte zeigt uns, daß sowohl auf dem Nordrande wie auf dem Südrande die Alpen von einer Reihe Seen umgeben sind, die bald mehr, bald weniger nahe an einander liegen. Sie folgen von Westen angefangen in dieser Reihe aufeinander: See von Bourget, Annecy, Genf, Neuenburg, mit denen von Murten und Biel, Thuner und Brienzer, Sempacher, Baldegger, und Hallwyler — Sarner, Vierwaldstädter, Lowerzer, Zuger — Züricher See, Greifensee,

Wallensee — Bodensee — Alpsee bei Immenstadt — die Gruppe der Lechseen bei Füßen (Weißensee, Hopfensee u. a.), die Ammerseen bei Murnau, Staffelsee, Riegsee, der Ammersee, der Würmsee, Kochel- und Walchensee, Tegernsee, Schliersee, Chiemsee, Waginger, Trumsee, Wallersee, die Seen des Salzkammergutes: Zeller-, Mond-, Atter- und Traunsee nebst Fuschel- und Wolfgangsee. Von da an fehlen sie weiter nach Osten ganz. Auf der Südseite ist ihre Entwicklung geringer, da auch der Raum dazu ein beschränkterer ist. Mit dem kleineren Lago d'Orta beginnen die Südseen südöstlich vom Mte. Rosa. Ihm folgt der große Langensee (Lago Maggiore), der See von Lugano und Como die ziemlich nahe bei einander liegen, in größeren Zwischenräumen schließen sich dann an der Lago d'Iseo und der Lago di Garda.

Fassen wir zunächst die Höhenverhältnisse dieser Seen ins Auge, so finden wir, daß sie danach wieder in 2 Gruppen zerfallen. Zunächst sind die südlichen und die nördlichen in in dieser Beziehung scharf von einander geschieden. Die letzteren liegen nämlich alle in viel geringerer Höhe, als die nördlichen. Der am höchsten gelegene, der Lago d'Orta ist 1144 F. (372 m.), der niedrigste, der Gardasee nur 218 Fuß (71 m.) über dem Meere; dagegen fällt die Lage der nördlichen zwischen 2435 Fuß (791 m.), auf welcher Höhe der Walchensee sich befindet, und 966 F. (314 m.) als der Höhe des westlichsten, des Sees von Bourget.

Zwischen diesen Höhengrenzen findet man bei den ungleich zahlreicheren Nordrandseen alle möglichen Zwischenstufen. Reihen wir sie der Höhe nach, in der sich gegenwärtig ihre Spiegel befinden, so folgen sie also auf einander, wie es die folgende Tabelle erkennen läßt, in der zugleich die Tiefe und der Flächeninhalt angegeben ist, soweit dieselben bekannt sind.

See	Höhe in Fuß	Höhe in Metern	Tiefe in Fuß	Oberfläche in Q. M.
Bourget	966	314		0,718
Genfer	1154	375	960	11,2
Bodensee	1225	398	849	9,79
Traunsee	1253	407	556	6,437
Züricher	1258	409	440	1,59
Zuger	1284	417		0,699
Wallensee	1308	425	480	0,422
Waginger	1310	431		
Bieler	1335	434	217	0,77
Neuenburger }	1338	435	450	4,36
Murtener }			360	0,49
Vierwaldstädter	1345	437	477	2,059
Greifensee	1350	439		
Annecy	1373	446		0,498
Hallwyl	1390	452	1428	0,174
Atter	1434	466	1236	0,853
Baldegg	1437	467		
Sarnen	1461	475		0,135
Mond	1467	477	210	0,26
Zeller	1537	500	108	0,06
Chiem	1548	503	504	1,55
Sempacher	1560	507		0,241
Ammer	1631	530	264	0,819
Wolfgang	1636	532	526	0,244
Thuner	1724	560	720	0,83
Brienzer	1742	566	2000	0,508
Würm	1842	598	756	0,98
Kochel	2058	668	252	0,17
Staffelsee	2100	662	576	
Tegernsee	2222	722	480	0,193
Walchensee	2435	791	763	0,336

See	Höhe in Fuß	Höhe in Metern	Tiefe in Fuß	Oberfläche in Q. M.
Die Südseen.				
Garda	218	71	892	6,6
Iseo	590	192	918	1,05
Lago Maggiore . . .	606	197	2629	3,7
Como	655	213	1808	2,9
Varese	797	259		0,285
Lugano	834	271	858	0,917
Orta	1145	372		0,287

Wir sehen aus dieser Tabelle zunächst den großen Unterschied zwischen den nördlichen und den südlichen Seen scharf hervortreten. Die Mittelzahl der Höhe aus den 31 nördlichen Seen wird 1518 F. (193,5 m.), die der 7 Südseen nur 692 F. (225 m.). Die größte Zahl der Nordseen, nämlich 9 finden wir in einer Höhe zwischen 1300 und 1400 F., ebensoviele zunächst über, wie unter dieser Höhe, 4 zwischen 1200 und 1300, 4 zwischen 1400 und 1500, so daß also mehr als die Hälfte, 17 von 31, zwischen 1200 und 1500 F. oder in runden Zahlen zwischen 400 und 500 Meter Höhe liegen. Eine weitere in die Augen springende Gesetzmäßigkeit gibt sich nicht zu erkennen; bunt durcheinander finden wir östliche und westliche Seen; einander sehr nahe liegende zeigen oft sehr ähnliche, aber auch sehr verschiedene Höhen, wenn schon hie und da einzelne Seen gruppenweise ziemlich gleich hoch zu liegen kommen.

Auch hinsichtlich der Tiefe gibt sich der Unterschied zwischen den nördlichen und südlichen Randseen deutlich zu erkennen. Von den ersteren, deren Tiefe bekannt ist, erreichen nur 4 die Tiefe, welche der seichteste der Südseen hat, und auch der tiefste, der Brienzer See steht um ein beträchtliches,

um nur 34 F. weniger als die mittlere Tiefe sämmtlicher Nordseen, hinter dem tiefsten der Südseen, dem L. Maggiore zurück. Ziehen wir nämlich das Mittel aus den Tiefen sämmtlicher nördlicher Seen, 23 an der Zahl, so erhalten wir dafür 653 Par. F., während als Mittelzahl der 5 gemessenen südlichen Seen sich 1421 F. (462 m.) ergibt, eine Zahl, die nur 2 von sämmtlichen Nordseen erreichen.

Betrachten wir auch noch die Lage der Seen in geologischer Beziehung, die man ebenfalls als Eintheilungsprincip hat verwerthen wollen, so ergibt sich doch kein hinlänglich durchgreifender Unterschied nach dieser Seite hin. Als Randseen liegen die nördlichen wie die südlichen im Gebiete der Kalkalpen; nur der Lago Maggiore und der Comersee greifen in das Urgebirge ein, aber auch sie sind großentheils von jüngeren Bildungen eingeschlossen.

Auch das Verhalten der Seen zu Flüssen läßt uns keine ganz klaren und einfachen Beziehungen zwischen beiden erkennen. Ohne Ausnahme stehen zwar alle Seen mit irgend einem fließenden Wasser in Verbindung und unsere größten Seen, Genfersee und Bodensee dienen auch den größten Flüssen zum Durchgangspunkt, aber dennoch ist See und Fluß in den Alpen nicht so eng mit einander verbunden, namentlich auch die Größenverhältnisse beider nicht so abhängig von einander, als es bei Betrachtung einzelner Fälle wie der genannten der Fall zu sein scheint. Von den zahlreichen Flüssen, welche dem Po zueilen, haben nur 4 (Tessin, Adda, Oglio und Mincio) einen See in ihrem Laufe; auch die größeren Flüsse der bayerischen Hochebene, Lech, Isar, ebenso der größte aller alpinen Flüsse, der Inn gehen durch keine Seen, während viel kleinere zum Theil mit großen Seebecken in Verbindung stehen, z. B. die Alz mit dem Chiemsee und andre ähnliche kleinere Gewässer. Ob dennoch ein nachweisbarer enger Zusammenhang zwischen Fluß und

See anzunehmen sei, auch wo er uns gegenwärtig auf der Karte nicht in die Augen springt, diese Frage ist in der neuesten Zeit vielfach erörtert worden, läßt sich aber nicht im Allgemeinen, sondern nur für jeden Fall besonders beantworten.

Zum Schlusse wollen wir noch mit einigen Worten der Farbe der Gewässer gedenken. Wo wir in der Natur größere, d. h. in dickeren Schichten auf einander gelagerte Wassermassen beobachten, sehen wir dieselben immer mehr oder weniger gefärbt erscheinen. Sehen wir von der Farbe des Meeres ab, so finden wir auf dem Festlande vorzugsweise Gelb bis ins Braune des Kaffees, Grün und Blau als die Farben, welche stehende oder fließende Gewässer erkennen lassen. Außer den Unterschieden in der Farbe macht sie auch noch für einen nur etwas aufmerksamen Beobachter der Gewässer ein großer Unterschied im Grade der Durchsichtigkeit bemerklich. Manche lassen bis zu sehr großer Tiefe hinab alle Gegenstände deutlich erkennen, bei anderen verschwindet der Grund schon bei einer Tiefe von 3—4 F., auch wenn das Wasser kein fließendes und lange ruhig gestanden ist, auch eine Trübung durch Schlamm oder andere im Wasser schwebende Stoffe mit dem Auge nicht bemerkt werden kann. Die Ströme und Seen der Tiefländer sind im Allgemeinen weniger klar und häufiger gelblich gefärbt, als die des Gebirges, bei denen die grüne und blaue Farbe vorwiegend ist. Die Mehrzahl der stehenden, wie fließenden Gewässer der Alpen erscheint grün oder blaugrün gefärbt, seltener ist die blaue Farbe, doch kommt auch diese an manchen Seen und kleineren Wasseransammlungen in wunderbarer Reinheit zur Erscheinung. Berühmt wegen dieses prachtvollen Blaus sind der Gardasee, der Genfer und der Achensee, wie durch ihr besonders schönes Grün der Königssee und die Quellseen des Inn. Auch in dem Oberlauf der reißenden Gebirgswässer kommt diese schöne grüne Farbe schon in

dünneren Lagen zum Vorschein; wo nur zwischen 2 großen Rollsteinen eine kleine Vertiefung sich gebildet, in der das Wasser ruhiger umherkreist, erscheint diese angenehme Farbe sofort. Oft freilich ist sie stark getrübt, wenn viel des zerriebenen Gesteines in dem Wasser mit fort wirbelt, wie dies in Gewässern, die aus Kalkgebirgen kommen, häufig der Fall ist. Am beständigsten zeigen diese Trübung die den Gletschern entströmenden Bäche, bei denen sie so stark wird, daß diese Bäche wie milchiges Wasser aussehen. Treten sie in einen etwas größeren See, in dem dieses feine Steinpulver Zeit hat, sich abzusetzen, so erscheinen sie beim Austritt mit derselben schönen Farbe und der gleichen Klarheit, wie die übrigen Gebirgsflüsse.

Man hat über die Farbe der Gewässer schon vielfache Erörterungen gepflogen, ohne jedoch zu einem vollständig befriedigenden Ergebnisse gelangt zu sein. Bunsen hat zuerst nachgewiesen, daß jedes ganz reine Wasser, so wie man durch eine etwas dickere Schichte desselben das Licht hindurchgehen läßt, blau erscheint. Organische, namentlich humöse Bestandtheile färben es in etwas beträchtlicher Menge zugesetzt, dunkelgelb bis braun. Die aus größeren Wäldern kommenden Gewässer, z. B. die des Fichtelgebirges, des bayerischen Waldes erscheinen, wie auch alle Waldseen, bräunlich gefärbt, in dünneren Schichten bernsteinfarben, selbst goldgelb. Durch die Vermischung solcher gelber Wassermassen mit reinem für sich blauen soll nun die grüne Farbe erzeugt werden. So gut auch diese Erklärung für manche Fälle passen mag, so wenig scheint sie doch für andere zuzutreffen, namentlich in den Fällen nicht, wo größtentheils geschmolzenem Schnee und Eis ihren Ursprung verdankende Massen sofort grün erscheinen, so wie sie etwas tiefer werden.

Für das Meerwasser haben die Untersuchungen von Tyndall ergeben, daß die grüne Farbe stets da sich zeigt,

wo es reich an suspendirten Stoffen ist, und daß selbst an Stellen, wo es vollkommen blau erscheint, ein weißer Gegenstand, den man hinabläßt, z. B. eine Porzellanschüssel grün gesehen wird. Es geht daraus hervor, daß im Wasser schwebende Theilchen, die noch Licht reflektiren, was bei größerer Menge derselben nur noch aus geringer Tiefe herauf möglich ist, das Wasser grün erscheinen lassen, weil die geringere Wasserschichte, die zwischen ihnen und dem Auge sich befindet, nicht dick genug ist, um auch die grünen Lichtstrahlen zu verschlucken. Zuerst nämlich nimmt das Wasser, das in dünnen Schichten, wie jeder weiß, farblos erscheint, aus dem Lichte die rothen, dann die gelben, dann die grünen Strahlen weg; dünnere Schichten einer tiefen für sich indigoblau erscheinenden Wassermasse lassen daher noch die grünen Strahlen unverschluckt hindurchgehen, suspendirte Theilchen färben es daher grün, da dieselben schon näher der Oberfläche Licht zurückwerfen.

Ob diese letztere Erklärung auch für alle Fälle unserer Seen und fließenden Gewässer passe, muß für jetzt noch dahingestellt bleiben.

Meteorologie.

Bei einem so ausgedehnten Gebiete, wie das, über welches unsere Alpen verbreitet sind, und bei den in meteorologischer Beziehung so außerordentlich verschiedenen Verhältnissen der einzelnen Theile ist es schwierig, im Allgemeinen und für das Ganze dieselben in Betracht zu ziehen. Mit dem einen Fuße im Westen unmittelbar aus dem Mittelmeer aufsteigend, mit dem anderen östlichen mitten im Kontinente endigend, im Süden fast ganz vom Meere oder einer tiefen Niederung begrenzt, welche schon einen subtropischen Charakter erkennen läßt, im Norden von einem weithin sich erstrecken-

den entschieden kontinentalen Hochland der rein gemäßigten Zone begrenzt, bietet unser Gebirgsland eine außerordentliche Mannigfaltigkeit der meteorologischen und klimatischen Verhältnisse dar; es bildet, wie schon C. v. Ritter hervorgehoben, den Grenzstein zwischen den 4 großen Gebieten, in welche nach den klimatischen Verhältnissen Europa eingetheilt werden kann, die sich in dem doppelten Gegensatze von Seeklima und Kontinentalklima, Nord und Süd zu erkennen geben. Trotz dieser Mannigfaltigkeit gibt sich doch auch überall eine gewisse Gleichheit der meteorologischen Verhältnisse zu erkennen, so wie wir nur die des Gebirges mit denen der unmittelbar ihnen vorliegenden Länder vergleichen. Diese Verschiedenheit der Meteorologie des Gebirges und der Ebene fällt Jedem auf, der nur etwas länger sich in beiden aufgehalten, und sie ist es, die wir auch im Folgenden vorzugsweise im Auge behalten werden.

Als die wichtigsten, am meisten sich bemerkbar machenden und im Gebirge von dem Bewohner der Ebene auch wohl am häufigsten besprochenen Erscheinungen sind wohl die Verhältnisse der Temperatur und der atmosphärischen Niederschläge zu bezeichnen, die wir deshalb auch zunächst betrachten wollen.

Temperaturverhältnisse der Alpen.

Als bekannt dürfen wir voraussetzen, daß die Temperaturerscheinungen an der Oberfläche der Erde allein von der Sonne abhängen, daß also unter sonst gleichen Umständen zunächst die geographische Lage und zwar der Breitegrad über die Menge der Wärme, welche einem Orte zukommt, entscheidet. Die mittlere Jahrestemperatur auf der Erdoberfläche nimmt unter sonst gleichen Verhältnissen stetig vom Aequator gegen den Pol zu ab. Daß aber nicht alle Orte, die auf gleichem Breitegrad liegen, gleiche Verhältnisse darbieten, braucht wohl kaum der Erwähnung. Die Beobachtung

lehrt uns nun, daß 2 dieser für die Temperatur wichtigen Faktoren vor allen anderen von besonderem Einflusse sind, nämlich die Erhebung über den Meeresspiegel und die Entfernung vom Meeresufer. Von etwas geringerer Bedeutung, aber in manchen Fällen doch sehr deutlich hervortretend sind die vorherrschende Windrichtung und die Menge, Art und Vertheilung der atmosphärischen Niederschläge.

Nun ist zwar die geographische Breite für das ganze Alpengebirge keine sehr verschiedene, nur 5 Grade beträgt dieselbe für das äußerste Nord- und Südende, aber alle übrigen Wärmefaktoren finden sich in einzelnen Theilen von der allergrößten Verschiedenheit und eben deswegen zeigt sich eine so große Ungleichheit in den Temparaturverhältnissen räumlich nicht weit von einander getrennter Orte.

Betrachten wir zunächst etwas näher den Einfluß der einzelnen für die Temperatur eines Ortes maßgebenden Faktoren.

1. Die Höhe über dem Meeresspiegel. Die einzige Thatsache, daß unter allen Breiten in einer bestimmten Erhebung die Gipfel der Hochgebirge von Schnee bedeckt bleiben, läßt erkennen, daß die Temperatur an jedem Orte mit der Höhe abnehme. Durch die Beobachtung hat man zunächst die Höhe dieser sogenannten Schneelinie in den verschiedenen Breiten festgesetzt — wir werden ihre Lage in den Alpen später noch genauer betrachten — und ebenso das Gesetz, nach welchem die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Es ergibt sich daraus zunächst, daß die Größe, d. h. die Anzahl der Fuße, um welche man sich erheben muß, um die Temperatur um 1° C. sinken zu sehen, mit der geographischen Breite in der Art wechselt, daß sie um so kleiner wird, je größer die Breite eines Ortes ist. S. v. Walters-

hausen*) hat aus Beobachtungen, die theils an Bergen, theils in Luftballons von dem Aequator an bis nach Island hin, also zwischen 0 und 65° n. Br. angestellt wurden, das Gesetz abgeleitet, nach welchem unter verschiedenen Breiten die Temperaturabnahme erfolgt, und folgende kleine Tabelle darüber aufgestellt. Unter A steht die geographische Breite eines Ortes, unter B die Anzahl der Fuße, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um einen Grad abnehme, C die Differenz von 10 zu 10 Grad der Breite.

A	B	C
0	610,6	
10	603,7	6,9
20	583,4	20,3
30	550,2	33,2
40	505,2	45,0
50	449,6	55,6
60	385,2	64,4
70	314,4	71,4
80	238,2	75,9
90	159,9	77,3

Für die Alpen würde sich demnach diese Höhenstufe zwischen 460 und 490 Fuß ergeben, was auch mit den aus dazu brauchbaren Beobachtungen abgeleiteten Resultaten ganz wohl übereinstimmt. Es versteht sich nämlich wohl von selbst, daß um dieses Gesetz in seiner Reinheit zu erhalten, die Beobachtungen auch wirklich möglichst in vertikaler Richtung angestellt werden müssen. Außer bei Luftfahrten ist das freilich nicht zu erreichen, wohl aber an höheren Bergen noch so ziemlich, wenn man an verschiedenen Stationen vom Fuße an bis zur Spitze solche Beobachtungen vornimmt. Ganz unzulässig ist es aber, auch in horizontaler Richtung weit

*) Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und der Vorwelt.

von einander gelegene Punkte dazu herbeizuziehen, weil hier natürlich außer dem Höhenunterschiede auch noch ganz andere die Temperatur bestimmende Einflüsse sich geltend machen.

Auch das ist wohl selbstverständlich, daß je bedeutender die Höhe ist, je freier gelegen, desto reiner das Gesetz der Abnahme hervortreten wird, weil in diesem Falle die störenden lokalen Einflüsse, reflektirte Wärme von gegenüberstehenden Bergwänden, Stagnation der Luft, lokale Strömungen in derselben, überhaupt Einfluß benachbarter Orte, mehr beseitigt ist, als an tiefer gelegenen Punkten.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen wollen wir einige Beobachtungsreihen mittheilen, aus welchen das Gesetz der Abnahme für unsere Breiten abgeleitet und geprüft werden kann. Die genauesten Beobachtungen stellten Glaicher und Coxwell an, welche am 5. Sept. 1862 in London bis zu der erstaunlichen Höhe von 26800 F. Höhe sich erhoben. Es zeigte sich hiebei, daß bis zu 3600 F. Höhe die Abnahme der Temperatur ziemlich rasch erfolgte, auf je 233 F. 1° C. betrug. Von da an nahm die Temperatur ziemlich gleichmäßig ab bis zu 4000 m. (12313 F.). Durchschnittlich sank sie nach je 203 m. (624 F.) um 1° C. (die Abweichungen betrugen nur 196 und 220 m. als Maximum und Minimum); in noch größeren Höhen erfolgte die Temperaturabnahme wieder langsamer, so daß von 4000—6000 m. auf 1° Abnahme der Temperatur 287 m., zwischen 6000 und 7500 m. 456 m., zwischen 7500 und 8700 m. 588 m. erforderlich waren.

Von hohen Bergen liegt nur eine derartige brauchbare Beobachtungsreihe vor, wo die beiden Stationen in horizontaler Richtung nicht weit aus einander lagen, nämlich von Mt. Blanc. Auf dem sog. Grand Plateau, einer flach geneigten Firnmulde unter dem Gipfel, 12400 F. hoch, stellten Bravais und Martins vom 29. bis 31. Aug. 1844 genaue Temperaturbeobachtungen an, während gleichzeitig in dem

9200 F. tiefer liegenden Chamouny ähnliche gemacht wurden. Bei dem hohen Interesse, das diese Beobachtungen haben, theilen wir sie hier ausführlich mit. Die Kolumne unter P. enthält die Beobachtungen auf dem Gr. Plateau, die unter Ch. die zu Chamouny und die unter G. die zu Genf gleichzeitig angestellten. Unter P.—Ch. sind die Unterschiede in der Temperatur zwischen den beiden ersten Stationen und unter P.—G. die zwischen dem Plateau und Genf sich ergebenden in Graden nach Celsius angegeben.

		P.	Ch.	G.	P.—Ch.	P.—G.
28. Aug.	12 M.	— 1,0	17,4	17,4	18,4	18,4
	2 Nm.	— 2,0	19,5	19,4	21,5	21,4
	4 "	— 5,8	19,0	19,7	24,8	25,5
	6 "	— 5,6	14,3	18,3	19,9	23,9
	8 "	— 6,4	11,5	16,5	17,9	22,9
	10 "	— 6,5	8,7	14,7	15,2	21,2
	12 "	— 5,5	7,0	12,1	12,5	17,6
29. Aug.	4 Vm.	— 5,3	4,3	6,9	9,6	12,2
	6 "	— 6,4	4,0	9,3	10,4	15,7
	8 "	— 3,3	7,9	14,0	11,2	17,3
	10 "	— 0,7	15,0	15,9	15,7	16,6
	12 M.	— 7,1	7,6	12,2	14,7	19,3
30. Aug.	4 Vm.	— 7 3	4,2	8,5	11,5	15,8
	6 "	— 7,5	4,0	11,9	11,5	19,4
	8 "	— 4,6	8,5	13,4	14,9	18,0
	10 "	— 2,8	15,4	16,0	18,2	18,5
	12 M.	— 2,3	18,3	17,1	20,6	19,4
	2 Nm.	— 2,1	19,0	18,7	21,1	20,8
	4 "	— 5,0	19,3	19,6	24,3	24,6
	6 "	— 5,0	15,5	17,8	20,5	22,8
	8 "	— 5,9	11,0	16,7	16,9	22,6
	10 "	— 5,8	8,9	13,9	14,7	19,7
	12 "	— 8,0	7,0	12,1	15,0	20,1
31. Aug.	4 Vm.	— 6,0	5,2	9,9	11,2	15,9

		P.	Ch.	G.	P.—Ch.	P.—G.
31. Aug.	6 Vm.	— 6,9	4,1	12,2	10,0	19,1
	8 „	— 4,1	6,7	14,0	10,8	18,1
	10 „	— 5,2	15,5	16,2	20,7	21,4
	12 M.	— 1,5	17,0	17,4	18,5	18,9
	2 Nm.	— 1,5	16,9	19,2	17,4	20,7
	4 „	— 3,2	18,1	19,2	21,3	22,4
	6 „	— 4,7	13,9	17,9	18,6	22,6
	8 „	— 5,8	11,9	16,3	17,7	22,1
	10 „	— 5,0	12,4	13,7	17,4	18,7
	12 M.	— 5,2	8,9	10,8	14,1	16,0
1. Sept.	4 Vm.	— 5,9	5,1	10,0	10,0	15,9
	6 „	— 3,9	4,6	8,2	8,5	12,1
	8 „	— 3,2	6,0	13,5	9,2	16,7
	10 „	— 2,0	13,4	15,5	15,4	17,5
	12 M.	— 1,5	—	17,3	—	18,8

Sehen wir zu, was diese Zahlen aussagen: Betrachten wir zunächst die für uns wichtigste Kolumne, die Temperaturen des Gr. Plateau, so sehen wir, was sich auch an andern Orten bestätigt hat, daß die Temperaturdifferenzen in der Höhe viel geringer werden. Sie beträgt in der ganzen Reihe der Beobachtungen nur 7° (Minimum — 8,0 um Mitternacht 30. August und Maximum — 1° Mittag 28. August), während sie in Chamouny 15,5° ausmacht (Minimum 29. und 30. Aug. 6 Uhr Früh, Maximum 28. Aug. Nachm. 2 Uhr) und in Genf 12,5° (Minimum 29. Aug. 4 Uhr Früh, Maximum 28. Aug. 2 Uhr Nachm.).

Ein Weiteres was sich zeigt, ist die Ungleichheit im Gange der Temperatur. Vergleichen wir die 11 Stunden der 5 Tage, an denen Beobachtungen gemacht wurden, so sehen wir, daß nur 3 mal das Maximum und Minimum, das wir in diesen Stunden für Chamouny und das Plateau finden, auf denselben Tag fallen, dagegen 8 mal nicht. Es zeigt sich

selbst, daß das Maximum der Temperatur der einen Stunde in Chamouny zusammenfällt mit dem Minimum derselben auf dem Plateau z. B. am 31. Aug. Abends 10 Uhr u. a.

So kommt es, daß die Temperaturdifferenzen zwischen Chamouny und dem Plateau in einer Stunde auf 8,5 herabgehen (21. Sept. 6 Uhr), in andern bis auf 24,3 und 24,8 steigen (30. Aug. 4 Uhr Nachm. und 28. Aug. 4 Uhr Nachm.). Die Differenz zwischen Genf und dem Plateau betrug für dieselbe Zeit 12,1 am 31. Sept. Morgens 8 Uhr im Minimum und 25,5 am 28. Aug. Nachm. 4 Uhr. Zwischen Genf und Chamouny ergeben sich für eine Stunde Differenzen von 8,1 und von —1,2, d. h. in der Regel ist die Temperatur in Genf höher, im Tagesmittel um 3,37°; aber hie und da zeigt sie sich auch in Chamouny höher, z. B. am 28. Aug. um 2 Uhr Nm., am 29. und 30. Aug. um 1° und 1,2° um Mittag.

Wir sehen daraus, wie unzuverlässig Vergleichungen der Temperaturen von Orten sind, welche auch nicht sehr weit aus einander liegen, wenn es sich darum handelt, den Gang der Temperatur aus wenigen Beobachtungen für einen Ort aus den vielen eines anderen abzuleiten und ebenso die Höhe zu bestimmen, um welche man sich erheben muß, damit die Temperatur um 1° sinke. Ziehen wir das Mittel aus den vorliegenden 38 Beobachtungen, so erhalten wir 664 F. aus der Reihe Chamouny—Plateau, während sich das Minimum zu 365 F., das Maximum zu 1046 F. berechnet.

Nehmen wir das Mittel der einzelnen Stunden, so erhalten wir folgende Zahlen. Es ergibt sich nämlich zunächst als Mittel für die einzelnen Stunden in Chamouny und auf dem Plateau, die wir hier mit der Differenz zwischen ihnen hersetzen.

	4 Vm.	6	8	10	12 M.	2 Nm.	4	6	8	10	12
Chamouny	4,70	4,18	7,28	14,83	17,72	18,45	18,60	14,60	11,73	9,55	7,63
Plateau	—6,1	—6,2	—3,8	—2,2	—1,6	—1,9	—4,7	—5,1	—6,0	5,8	—6,5
Differenz	10,8	10,38	11,08	17,03	19,32	20,35	2 ,3	19,7	17,73	15,35	14,13

Daraus finden wir für diese Stunden die Höhen, für die Temperaturabnahme um 1° also:

4 Vm.	6	8	10	12 M.	2 Nm.	4	6	8	10	12
823	855	801	523	460	436	381	451	502	577	631

Aus diesen Zahlen erhalten wir das Mittel 585. Die Differenz gegen das aus den einzelnen Stunden ermittelte von 664 F. ist nicht unerheblich. Sie rührt davon her, daß das Temperaturmittel der Stunden auf dem Plateau einigemal nur aus 3 Beobachtungen bestimmt werden konnte, daher nicht ganz richtig ist und deswegen abweichen muß von dem Resultate für die Höhenunterschiede für 1°, das aus den einzelnen wirklichen Beobachtungen abgeleitet ist. Auch dies zeigt uns wieder, wie nur aus einer großen Zahl von Beobachtungen richtige Resultate erhalten werden können, bei denen die einzelnen störenden Einflüsse, die natürlich bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin eine Abweichung erzeugen, sich ausgleichen. Eine derartige ausgedehnte Beobachtungsreihe auf dem Theodulpaß werden wir weiter unten noch besprechen.

Einfluß der Nähe des Meeres oder großer Seen.

Bekanntlich ist dieser Einfluß ein außerordentlich großer, so daß man als die beiden Extreme klimatischer Verhältnisse auf der einen Seite das Seeklima, auf der andern das Kontinentalklima aufgestellt hat. Wir geben auch hier zunächst in einer kleinen Tabelle für die nördliche Halbkugel die von Sartorius v. Waltershausen berechneten Werthe für dieselben. Es bedeutet in beiden Tabellen

A die geographische Breite,
B die mittlere Jahrestemperatur,
C die mittlere Temperatur des wärmsten,
D die des kältesten Monates,
E die Differenz zwischen C und D.

Seeklima.

A	B	C	D	E
0	20,84	21,70	20,58	1,12
10	20,89	22,11	19,67	2,44
20	19,34	21,20	17,48	3,72
30	16,70	19,17	19,23	4,93
40	13,33	16,34	10,32	6,01
50	9,68	13,15	6,21	6,95
60	6,20	10,05	2,35	7,71
70	3,36	7,50	— 0,78	8,27
80	1,49	5,80	— 2,82	8,62
90	0,84	5,20	— 3,52	8,73

Kontinentalklima.

A	B	C	D	E
0	29,05	29,05	29,05	0,00
10	27,72	31,19	24,25	6,95
20	23,88	30,70	17,06	13,65
30	18,02	28,00	8,02	20,00
40	10,82	23,68	— 2,04	25,72
50	3,16	18,48	— 12,16	30,64
60	— 6,99	10,33	— 24,31	34,64
70	— 9,99	8,80	— 28,78	37,59
80	— 13,74	5,95	— 33,43	39,39
90	— 15,07	4,93	— 35,07	40,00

Es ergibt sich daraus:

1. In den Tropen und noch in den wärmeren Theilen der gemäßigten Zone ist die mittlere Jahrestemperatur des Seeklimas geringer, von da an bis zu dem Pole höher als die des Kontinentalklimas.

2. Die Temperaturschwankungen sind mit Ausnahme der unmittelbar am Aequator liegenden Gegenden größer bei dem Kontinentalklima und nehmen

3. viel rascher vom Aequator nach dem Pole bei letzterem zu, als bei dem Seeklima.

Was nun unser Alpengebirge betrifft, so liegt dasselbe so, daß es nirgends ein reines Kontinentalklima, aber auch nirgends ein reines Seeklima aufzuweisen hat, doch nähert es sich am südwestlichen Ende mehr dem letzteren, am nordöstlichen mehr dem ersteren. Auch die Nähe größerer Seen ist auf die Temperatur ihrer nächsten Umgebung nicht ohne Einfluß, wenn sich derselbe auch nicht sehr stark und nicht weithin bemerklich macht. Im Sommer wird eine solche Wassermasse nie so warm, als der feste unbewaldete Erdboden, kühlt sich aber auch nicht so stark ab. Die größeren Seen am Rande der Alpen gefrieren äußerst selten zu. Wegen der großen Wärmecapacität des Wassers wirken sie in dem letzteren Falle entschieden erwärmend auf ihre Umgebung, wie sie bei großer Hitze auch durch ihre Verdunstung einen abkühlenden Einfluß haben.

Wir stellen hier zunächst eine kleine Tabelle für eine etwas größere Anzahl von meteorologischen Stationen der Alpen zusammen und zwar in der Art, daß wir zunächst im Westen und am Nordrande hin gehen, dann mitten aus dem Gebirge ebenfalls von Westen nach Osten die Orte folgen lassen, auf diese dann einige am Südrande zum Theil außerhalb des Gebirges gelegene zur Vergleichung beisetzen.

Wir wollen hier neben den Monatstemperaturen die mittlere Jahrestemperatur beisetzen. Ueber die Temperaturen auf den Alpengipfeln werden wir dann noch besondere Mittheilungen folgen lassen.

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Avignon .	43	3,48	5,36	7,52	10,72	14,45	14,80	18,72	19,04	15,36	12,08	7,60	4,96	11,21
Genf . . .	1253	— 0,27	1,06	3,58	6,89	10,30	13,42	14,82	14,24	11,43	7,85	3,56	0,69	7,28
Lausanne	1533	— 0,72	1,92	3,76	7,20	11,04	14,48	14,08	15,04	12,40	7,84	3,42	0,00	7,59
Vevey . .	1250	— 0,56	1,84	4,88	8,08	11,68	14,40	16,24	14,40	12,24	9,52	3,60	2,80	8,35
Freiburg .	1950	— 3,44	— 0,64	2,96	6,48	10,16	12,00	13,68	13,12	9,60	5,84	2,08	— 0,64	5,92
Bern . . .	1790	— 2,48	0,16	2,80	6,00	9,84	11,76	13,60	13,20	10,64	6,64	2,40	— 0,48	6,24
Zürich . .	1254	— 2,11	0,94	3,53	5,98	12,56	13,11	14,97	14,78	11,60	7,97	3,15	— 0,78	7,14
St. Gallen	1700	— 1,28	0,72	3,60	7,52	10,80	12,80	14,88	15,76	11,68	7,52	3,36	0,72	7,36
Bregenz .	1218	— 0,90	— 0,12	2,69	7,19	9,42	13,15	14,57	14,56	11,86	8,24	2,63	— 0,30	6,90
Lindau . .	1218	— 0,96	0,66	2,90	7,06	10,58	14,70	15,88	15,30	12,35	7,72	2,02	0,84	7,44
Andechs .	2160	— 1,20	— 0,32	2,72	7,12	12,00	14,72	15,84	15,12	12,80	7,52	2,72	— 1,04	7,28
Tegernsee	2251	— 1,60	— 0,80	0,32	5,12	9,20	11,84	13,76	12,80	10,96	5,44	1,84	1,60	5,6
Reichenhall	1407	— 1,52	2,0	4,4	7,52	11,92	14,88	17,84	14,92	13,12	7,36	3,60	2,02	8,24
Salzburg	1259	— 1,51	0,08	2,76	7,28	10,58	13,62	14,39	14,38	11,32	8,24	2,49	— 0,42	6,93
Ischl . . .	1550	— 2,04	— 0,40	1,79	6,25	10,12	13,05	13,82	13,75	10,76	7,63	1,95	— 1,17	6,20
Graz . .	1206	— 2,08	0,57	2,89	7,49	11,35	14,80	15,71	15,37	11,89	8,63	2,56	— 1,02	7,12
Chur . . .	1880	— 1,2	— 1,52	4,64	6,96	12,56	13,2	15,04	14,08	12,08	8,16	4,32	— 0,08	7,60

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Innsbruck	1769	— 3,23	— 0,89	0,73	6,75	10,20	12,98	13,84	13,99	10,40	7,83	1,42	— 3,08	5,91
Meran . .	864	0,46	1,35	6,32	9,61	11,83	15,56	17,66	17,10	13,23	9,48	4,51	1,20	9,06
Lienz . . .	2314!	— 3,80	— 1,13	2,09	6,92	10,50	13,58	14,69	14,18	10,71	7,13	1,14	— 3,01	6,08
Villach . .	1500	— 2,45	0,10	2,64	7,41	11,01	14,63	15,65	15,11	12,05	8,85	2,45	— 2,65	7,06
Klagenfurt {	1340	— 4,74	— 2,89	2,58	7,45	12,00	15,14	15,42		11,84	7,37	1,40	— 3,20	6,42
		— 4,77	— 2,07			11,20	14,32	15,35	14,65	11,19	7,33	1,51	— 3,19	5,76
Cilli . . .	750	— 1,79	0,53	3,48	7,95	11,78	15,00	15,94	15,79	12,50	9,40	3,73	— 0,70	6,96
Agram . .	307	0,22	2,42	5,01	9,81	13,50	17,24	18,01	18,36	14,01	10,56	4,08	1,14	9,53
Marseille		6,65	5,94	7,15	9,80	12,59	15,50	18,19	19,02	15,78	13,42	8,20	5,47	11,46
Aosta . .	1890	0,13	1,49	4,83	8,60	11,9	15,39	16,86	15,83	12,72	8,50	3,41	2,58	8,55
Ivrea . .	966	0,04	1,97	5,79	9,76	13,56	17,36	19,23	18,48	15,37	10,54	6,24	2,72	10,09
Turin . .	857	— 0,49	1,21	5,58	9,17	14,22	16,20	18,18	18,30	14,38	9,98	4,70	0,53	9,39
Mailand .	441	0,54	2,80	6,17	10,07	14,26	17,19	19,00	18,48	15,32	11,09	6,70	2,03	10,30
Roveredo	500	— 0,62	1,75	5,45	11,17	13,57	17,06	18,51	18,26	13,99	11,08	4,87	1,08	9,68
Botzen . .	816	— 0,26	2,99	6,53	10,16	13,87	17,31	17,78	17,92	14,08	10,83	4,65	1,19	9,72
Udine . .	366	1,84	3,21	6,09	9,70	14,22	16,71	18,17	17,71	14,77	10,60	6,11	3,62	10,23
Venedig .	0	1,93	3,47	6,07	9,56	13,57	16,53	18,06	17,64	15,02	11,58	6,80	2,69	10,33

Die vorhergehenden Zahlen geben uns die mittleren Jahres- und Monatstemperaturen von Orten der Alpen zwischen 366 F. und 2314 F. Höhe. Aus Berechnungen von Sartorius v. Waltershausen sehen wir, daß in der geogr. Breite des Alpengebirges für ein gemischtes Klima (Mittel zwischen Kontinental- und Seeklima) die Temperaturdifferenz für 1° der Breite ½° beträgt, dagegen können wir bei geringeren Höhen in runder Zahl für 500 F. Unterschied in der Höhe einen Grad Unterschied in der Temperatur rechnen. Mit Ausnahme von Marseille und Avignon liegen alle in der obigen Tabelle enthaltenen Orte zwischen 45 und 48° n. Br., so daß die aus der verschiedenen geogr. Breite herrührende Differenz nicht sehr groß ist, dagegen ist der Unterschied in der Höhe der verschiedenen Orte 2300 F., was einem Unterschiede von 4,6° entspricht.

Wollen wir daher eine Vergleichung der Temperaturverhältnisse der verschiedenen Theile des Alpengebirges anstellen, um den Einfluß des Gebirges auf die Wärme der einzelnen Orte zu erkennen, so müssen wir für alle die Temperatur für dieselbe Höhe und für dieselbe geogr. Breite berechnen.

Als die gemeinschaftliche Höhe für alle Orte haben wir 1000 F. über dem Meere zu Grunde gelegt, und als die geogr. Breite den 46. Breitegrad. Alle tiefer als 1000 F. gelegenen Orte sind daher in ihrer Temperatur erniedrigt, alle höher gelegenen erhöht worden nach den oben angegebenen Beträgen für den Höhenunterschied; dasselbe gilt auch für niedrigere und höhere Breiten. Die folgende Tabelle gibt nun diese corrigirten Temperaturen. Die Orte sind dabei wieder in derselben Reihenfolge aufgeführt; die erste Kolumne A enthält die nicht corrigirten Jahresmittel, die zweite B die corrigirten, die dritte C die Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und kältesten Monate.

Nordseite.	A	B	C
Avignon	11,21	7,70	15,56
Genf	7,28	8,25	15,09
Lausannne	7,59	8,84	15,76
Vevey	8,35	9,10	15,68
Freiburg	5,92	8,12	17,12
Bern	6,24	7,54	16,08
Zürich	7,14	7,44	17,08
St. Gallen	7,36	8,76	17,04
Bregenz	6,90	7,55	15,47
Lindau	7,44	8,09	16,48
Andechs	7,28	9,98	17,04
Tegernsee	5,6	8,35	15,50
Reichenhall	8,24	9,35	19,36
Salzburg	6,93	7,83	15,90
Ischl	6,20	7,55	15,86
Graz	7,12	7,57	17,79
Inneres des Geb.			
Chur	7,60	9,20	16,24
Innsbruck	5,91	7,51	17,22
Meran	9,06	8,48	17,20
Botzen	9,72	9,07	18,18
Lienz	6,08	8,58	18,40
Villach	7,96	7,86	18,10
Klagenfurt	6,42	6,02	20,16
	5,76	5,56	20,12
Cilli	6,96	6,00	17,83
Agram	9,53	7,53	18,14
Südrand.			
Marseille	11,46	7,46	13,55
Aosta	8,55	9,55	16,73
Ivrea	19,09	9,28	19,19
Turin	9,89	8,19	18,67
Mailand	10,30	9,20	18,46
Roveredo	9,68	8,16	18,88
Udine	10,23	8,60	15,87
Venedig	10,33	7,53	15,51

Vergleichen wir die Zahlen dieser Tabellen, bei welchen also die Verschiedenheiten, welche die geogr. Breite und die Höhe der einzelnen Orte erzeugt, eliminirt sind, so sehen wir, daß sich von Südwesten nach Nordosten eine Annäherung an das Kontinentalklima zu erkennen gibt, die sich besonders in der Steigerung der Differenz zwischen kältestem und wärmstem Monate kund thut. Das Minimum dieser Differenz finden wir bei Marseille — 13,55° — das Maximum in Klagenfurt — 20,12° — doch zeigen sich auch hier mannigfache Ausnahmen, die uns beweisen, daß die lokalen Einflüsse, d. h. die Einflüsse der nächsten Umgebung einen sehr bedeutenden Betrag erreichen können. Sonst wären die Differenzen der hinsichtlich der g. Breite und Höhe über dem Meere corrigirten Werthe der mittleren Jahrestemperatur nicht so bedeutend, wie wir sie wirklich finden. Dieselbe schwankt nämlich zwischen 6,00 (wenn wir die für Klagenfurt sich aus der einen Beobachtungsreihe zu 5,56 ergebende außer Acht lassen) und 9,98. Auch darin zeigt sich der Einfluß solcher lokaler Einflüsse, daß einander nahe gelegene Orte nicht unbeträchtlich in ihrer mittleren Jahrestemperatur von einander abweichen, wie z. B. Genf und Vevey, Reichenhall und Salzburg, wo der Unterschied auf $1\frac{1}{2}°$ steigt, Chur und Bregenz, wo er selbst $1\frac{3}{4}°$ beträgt.

Unter den vorstehenden Orten ist der höchste, Lienz, 2314 F. hoch. Im Ganzen haben wir nur für wenige hoch gelegene Orte des Gebirges länger fortgesetzte Temperaturbeobachtungen.

Wir wollen auch für solche höhere Punkte die vorliegenden Angaben zusammenstellen und dieselben nach der Höhe ordnen. Die Kolumne D enthält die Differenz zwischen dem kältesten und wärmsten Monate.

		Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
Peißenberg	3002	— 1,71	— 0,73	1,06	4,85	8,79	10,79	12,27
Gastein .	3014	— 3,29	— 2,65	0,05	4,10	8,00	10,89	11,41
Heil-Blut	4004	— 3,33	— 2,69	— 0,52	3,48	7,41	10,89	11,51
Saas . .	4932	— 6,32	— 3,6	0,4	4,24	10,08	11,84	13,36
Bevers . .	5280	— 5,40	— 2,6	2,1	4,9	8,5	10,6	14,10
Vent . . .	5791	— 6,56	— 5,68	— 3,76	0,08	4,48	10,16	10,32
St. Gotth.	6650	— 6,29	— 7,09	— 6,28	— 2,66	1,32	4,82	6,08
St. Bernh.	7670	— 6,94	— 6,14	— 4,52	— 2,09	1,79	3,89	5,44

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	D
Peißenberg . . .	11,97	9,37	5,92	1,96	— 0,51	5,34	13,98
Gastein	11,39	8,88	6,01	0,63	— 3,34	4,18	14,70
Heil-Blut	11,14	8,19	5,43	— 1,04	— 3,78	3,88	15,39
Saas	12,8	6,88	4,48	— 1,20	— 3,04	4,15	19,66
Bevers	11,7	8,1	5,1	- 1,5	— 4,2	4,3	19,50
Vent	9,52	3,68	1,60	— 4,80	— 6,00	1,08	16,82
St. Gotthard . .	6,11	4,15	— 0,37	— 3,97	— 5,91	— 0,84	12,40
St. Bernhard . .	5,38	3,02	— 0,41	— 3,63	— 5,66	— 0,82	12,38

Der St. Bernhard ist der höchst gelegene Ort der Alpen, von dem vieljährige Temperaturbeobachtungen vorliegen.

Eine wenigstens ein ganzes Jahr umfassende Beobachtungsreihe verdanken wir dem außergewöhnlichen wissenschaftlichen Interesse von Dollfuß-Ausset in Mühlhausen, der auf eigene Kosten eine meteorologische Station auf dem St. Theodul-Paß ober Zermatt in einer Höhe von 3333 m. oder 10260 F. errichtete. 3 Führer, Melch. und Jac. Blatter v. Meyringen und J. Ant. Gornet v. Valtournanche blieben

ein volles Jahr in der dort errichteten Hütte, um die mannigfachsten Beobachtungen anzustellen. Aus den stündlichen Temperaturbeobachtungen ergaben sich folgende Mittelwerthe der Temperaturen vom Aug. 1865 bis Ende Juli Aug. 1866 unter Th. Zur Vergleichung sind daneben unter der Rubrik G., B. die Temperaturen derselben Monate von Genf und St. Bernhard bezeichnet.

	G.	B.	Th.
August 1865	13,96	4,92	0,90
Sept.	13,24	**5,88**	**1,00**
Okt.	8,66	— 0,70	— 4,25
Nov.	5,06	— 2,91	— 6,14
Dez.	0,93 *	— 4,52	— 7,88
Januar 1866	2,76	— 4,53	— 8,08
Febr.	4,68	— 4,85	— 8,52
März	3,93	— 6,11 *	— 10,23 *
April	7,96	— 1,24	— 5,90
Mai	9,20	— 0,43	— 5,16
Juni	14,45	4,30	0,03
Juli	**14,83**	5,15	0,80
Mittel	8,32	0,44	4,46

Die fetter gedruckten Zahlen bedeuten die Maxima, die mit einem * versehenen die Minima der Temperatur.

Der Winter 1865/66 war wärmer, als er im Mittel ist, demgemäß war auch die Kälte an diesem hohen Punkte keine sehr bedeutende. Das Minimum, welches beobachtet wurde, fiel nicht in die Nacht und nicht in den kältesten Monat, sondern auf den 14. März, der sich wie der ganze Monat auch auf dem St. Bernhard unter dem Mittel hielt, Abends 6 Uhr und betrug — 21,4 ° C. oder — 17,12 ° R. Die höchste Temperatur zeigte sich am 28. Aug. 1865 mit 15,1 ° C. oder 12,08 ° R. Die niedrigste Mitteltemperatur für einen

ganzen Tag fiel auf den 13. Dez. mit —19° C. oder 15,2° R. Die höchste auf den 28. Aug. mit 9,60° C. oder 7,68° R.

Wir stellen hier noch die Differenzen für die Mittelwerthe der Temperatur der einzelnen Monate in Graden Celsius nach Dollfuß-Ausset zusammen und daneben die daraus sich ergebenden Werthe für die Temperaturabnahme um 1° C. in Füßen. Erstere sind in der Kolumne Unterschied, letztere in der Kolumne unter Höhe.

	Genf—St. Bernh.		St. Bernh.—Theod.		Genf—Theodul	
	Untersch.	Höhe	Untersch.	Höhe	Untersch.	Höhe
August 1865	11,22	569	5,08	526	16,29	554
Sept.	9,20	726	6,18	446*	15,41	597
Okt.	11,82	538	4,54	591	16,36	554
Nov.	9,97	637	4,04	664	14,01	646
Dez.	6,73	948	4,24	634	11,02	821
Januar 1866	9,20	698	4,43	606	13,56	667
Febr.	11,93	535	4,58	585	16,51	544
März	12,56	507	5,15	520	17,71	511
April	12,61	532	5,32	505	17,33	523
Mai	12,04	526	5,91	452	17,95	504
Juni	12,70	501*	5,34	501	18,04	501*
Juli	12,10	526	5,41	495	17,51	517
Mittel	11,02	600	4,99	544	15,95	578

Zwischen Genf und St. Bernhard und Genf und Theodul zeigt sich die Schwankung insofern gleichmäßig, als die Maxima und Minima auf dieselben Monate fallen, während zwischen St. Bernhard und Theodul weder das Maximum noch das Minimum in den gleichen Monaten wie in den eben genannten beiden Reihen sich findet. Er zeigt sich auch hier im Allgemeinen das Gesetz nicht bestätigt, daß die Differenzen mit der Höhe abnehmen, d. h. daß die Höhenstufen in größerer

Höhe für 1° Temperaturabnahme beträchtlicher sind, indem sowohl zwischen Genf und St. Bernhard die Differenzen für die Höhe größer sind, als für Genf und dem höheren Theodul-Paß, als auch zwischen diesem und dem St. Bernhard wieder die Höhenstufe sich verringert.

Aus den Monatsmitteln der 3 Stationen sieht man, daß St. Bernhard und Theodul hinsichtlich des Ganges der Temperatur sehr gut übereinstimmen; nicht nur die Maxima und Minima fallen auf dieselben Monate, sondern auch das Steigen und Fallen erfolgt in beiden stets gleichzeitig, während die Temperatur in Genf ein ganz anderes Verhalten zeigt. Weder Maximum noch Minimum, weder Steigen noch Fallen stimmt mit den beiden andern, woraus deutlich hervorgeht, daß man in horizontaler Entfernung weiter aus einander liegende Orte nicht zu Temperaturvergleichungen verwenden kann oder zu Ableitung von Gesetzen, die einen gleichmäßigen Gang der Temperatur an den beiden Stationen voraussetzen. Für den St. Bernhard zeigte sich, wie schon erwähnt wurde, das Jahr Aug. 1865 — Juli 1866 als ein über der Normaltemperatur stehendes. Nach Plantamour zeigte der St. Bernhard in 4 Monaten eine zu niedrige, in 8 eine höhere Temperatur als nach einem 35jährigen Mittel sein sollte, und zwar vertheilte sich dies in folgender Weise (— bedeutet, um wie viel die Temperatur zu niedrig war, die andern Zahlen, um wie viel sie zu hoch war).

1865 Aug. —0,46, Sept. 2,86, Okt. —0,39, Nov. 0,72, Dez. 1,14.

1866 Jan. 3,09, Febr. 2,04, März —0,20, April 1,35, Mai —0,56, Juni 1,07, Juli 0,39.

Nimmt man für die Station Theodul dieselben verhältnißmäßigen Abweichungen von der normalen Mitteltemperatur an, wie auf dem St. Bernhard und corrigirt die

in dem Jahre 1865/66 gefundenen Werthe danach, so erhält man als Mitteltemperatur für dieselbe in den einzelnen Monaten folgende Zahlen:

Januar	—11,10	Juli	0,41
Februar	—10,50	August	1,35
März	—10,05	September	—1,80
April	—7,20	Oktober	—4,25
Mai	—4,65	November	—6,86
Juni	—1,03	Dezember	—8,02

Jahresmittel —5,49 R.

Unterschied zwischen wärmstem und kältestem Monat 12,45.

Nach diesen Beobachtungen, wie nach andern kurze Zeit angestellten auf den Gipfeln der noch höheren Berge, hat man die Temperatur auf den höchsten Gipfeln für die verschiedenen Jahreszeiten zu berechnen versucht. Wohl hat man auch, um die niedrigste Temperatur auf ihnen zu finden, Minimum-Thermometer auf denselben befestigt, Tyndall z. B. auf dem Mt. Blanc. Leider wurden dieselben von der Gewalt der Stürme theils zerstört, theils waren sie nicht mehr aufzufinden, so daß wir noch keine thatsächliche Beobachtung über die niedrigste Temperatur auf diesem höchsten Punkte haben. H. v. Schlagintweit hat nach seinen Beobachtungen an der Vincenthütte auf dem Monte Rosa in einer Höhe von 9734 F. und Vergleichung des Ganges der Temperatur in dieser Höhe mit dem auf dem St. Bernhard die Temperaturverhältnisse für den Gipfel des Monte Rosa berechnet und dafür folgende Zahlen gefunden. Dieselben dürften namentlich für die Sommermonate etwas zu niedrig sein; wenigstens nach den Beobachtungen auf dem Theodul-Paß ist eine so niedrige Temperatur von Juni—August nicht wahrscheinlich.

Januar	—14,32° R.	
Februar	—14,32	
März	—14,08	
April	—12,40	Jahresmittel —10,48,
Mai	— 8,16	Unterschied zwischen dem
Juni	— 7,76	wärmsten und kältesten
Juli	— 7,44	Monat 7,28.
August	— 7,60	
September	— 7,84	
Oktober	— 9,12	
November	—10,48	
Dezember	—12,48	

Es ergibt sich daraus, wie aus der vorhergehenden Tabelle, die eigenthümliche Beschaffenheit des Höhenklimas, wie wir es kurz bezeichnen können, sehr deutlich, das sich einigermaßen dem Seeklima, auf der andern Seite dem Polarklima nähert, aber doch so verschieden sich wieder zeigt, daß wir auf der Erde nirgends einen Punkt finden können, welcher ähnliche Temperaturverhältnisse darbietet, wie ein hoher Berg. Die Aehnlichkeit mit dem Seeklima besteht darin, daß die Temperaturunterschiede wie bei diesem gering sind, aber auch in den Polargegenden steigt in den wärmeren Monaten die mittlere Monatswärme über Null. Noch größer ist der Unterschied zwischen dem Kontinentalklima hoher Breiten und dem eines hohen Berges. Dort finden wir ganz excessive Kältegrade im Winter, aber auch bedeutende Wärme im Sommer. Nertschinsk unter 50° n. Br. in Sibirien, dessen Mitteltemperatur im Nov. —13,12, Dez. —21,72, Januar —23,72, Februar —19,42° beträgt, hat doch in den drei Sommermonaten Juni, Juli, August Mitteltemperaturen von 12,33, 14,35 12,66°, und selbst in Jakutsk, dessen Mitteltemperatur für das ganze Jahr —8,73 beträgt, hat bei einer

Mitteltemperatur für November, Januar und Februar von —31,06, —32,61 —27,90, im Juni, Juli und Aug. 10,58... 13,89 und 11,15° R.

Dieser Unterschied ist namentlich für die Vegetationsverhältnisse von der größten Bedeutung. Alle unsere Gewächse können eine sehr große Kälte vertragen, namentlich für die einjährigen, die Wintermonate hindurch im Zustande des Samens verharrenden, ist die Wintertemperatur ohne Einfluß, dagegen verlangen sie unbedingt eine höhere Temperatur in den Sommermonaten, um sich entwickeln und ihre Samen reifen zu können. Es ist daher nur in sehr beschränktem Grade eine Aehnlichkeit zwischen dem Polarklima und Höhenklima vorhanden.

Auch in der Höhe macht sich der Einfluß der Nachbarschaft noch bedeutend bemerkbar; ein Plateau oder eine Stelle an einem spitz zulaufenden Berge werden ganz verschiedene Temperaturverhältnisse darbieten, auch wenn sie von gleicher Höhe sind, ebenso werden der Nordabhang und Südabhang eines Berges natürlich wieder merkliche Unterschiede an gleich hoch gelegenen Stellen erkennen lassen. So klein die Zahl der hohen Orte ist, von denen Temperaturtabellen vorliegen, so deutlich geben sich doch diese Lokaleinflüsse in denselben zu erkennen. Wir dürfen nur den St. Gotthard und St. Bernhard mit einander vergleichen; trotz einer Differenz in der Höhe von 1020 F. beträgt der Unterschied in der mittleren Jahrestemperatur zwischen beiden doch nur 0,02 Grad. Nov., Dez., Febr., März, April und Mai ist es auf dem Gotthard kälter, als auf dem Bernhard, die übrigen Monate ist dann der erstere wärmer. Auch hinsichtlich der Unterschiede zwischen kältestem und wärmstem Monat zeigt sich ein eigenthümliches Verhalten, sie nimmt nach der Tabelle zu bis zu 5000 F. und nimmt dann wieder ab.

Offenbar sind die Beobachtungen auf Höhen noch zu wenig zahlreich, um daraus sichere Gesetze ableiten und den Betrag der einzelnen störenden Faktoren, sowie die lokalen Einflüsse bestimmen zu können.

Näher bestimmt ist nur eine von den Temperaturverhältnissen abhängige Größe, nämlich die Höhe der Schneelinie, der wir noch einige Worte widmen wollen. Man versteht darunter bekanntlich die Linie im Gebirge, oberhalb der der Schnee nicht mehr ganz wegschmilzt. Da nun die Menge des fallenden Schnees und die Wärme nicht in allen Jahren und an allen Orten gleich ist, so folgt daraus mit Nothwendigkeit, daß auch diese Schneegrenze eine veränderliche sein muß an ein- und derselben Stelle, und eine verschiedene an verschiedenen Orten. Auch in dieser Beziehung wird die Lage einer Bergseite, Nord- oder Südabhang, die Gestalt desselben, ob es ein isolirter spitz zulaufender Kegel oder ein breiter Rücken, oder Gebirgsstock ist, an dem wir die Schneelinie untersuchen, von dem wesentlichsten Einfluß auf die Höhe derselben sein.

Wir finden daher auch sehr verschiedene Angaben über die Höhe derselben in den Alpen.

Dieselbe liegt nach

Saussure in	2532 m.	8100 Par. F.
Wahlenberg	2670	8220
L. v. Buch	2766	8420
A. v. Humboldt	2708	8350
v. Schlagintweit		
Nordabhang	2600—2700	8000—8300
Mittelalpen	2730—2800	8400—8600
Montblancstock	2860—3100	8790—9540

Sie fällt nicht zusammen mit der Linie, wo die mittlere Jahrestemperatur Null Grad beträgt, weil, wo dieses der Fall ist, die Sommertemperatur noch viel zu stark ist, — ganz ähn-

lich wie auch in den Polargegenden da, wo die mittlere Jahrestemperatur Null ist, der Schnee nicht das ganze Jahr liegen bleibt, — sondern beiläufig mit der Linie, wo die mittlere Jahrestemperatur —3,2° R. (4° C.) ist.

Zum Schlusse der Temperaturverhältnisse sei auch noch der Veränderlichkeit der mittleren Temperatur an ein- und demselben Orte gedacht. Es ist eine uns Allen bekannte Thatsache, daß in unseren geographischen Breiten die Temperaturverhältnisse außerordentlich schwankend sind, heiße Sommer, kalte Winter wechseln mit kühlen Sommer- und milden Wintermonaten regellos ab. Ebenso wissen wir alle, daß die Unterschiede in der Temperatur am größten in den kältesten Monaten sind. Demgemäß sehen wir auch die Veränderlichkeit im Allgemeinen zunehmen mit der Abnahme der mittleren Temperatur des Januar, obwohl auch hier mannigfache Ausnahmen vorkommen.

Wir haben bisher nur von einer geringen Anzahl von Orten zuverlässige Angaben über die größte Abweichung der monatlichen Mittel. In der folgenden kleinen Tabelle geben die Zahlen nach Dove an, wie groß der Unterschied zwischen der höchsten und niedersten bis jetzt beobachteten mittleren Temperatur eines jeden Monates ist, die fetter gedruckten zeigen das Maximum, die mit einem * das Minimum der Differenzen.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Genf	**9,01**	6,36	5,62	6,26	5,36	4,05*
Klagenfurt .	9,79	**10,48**	5,42*	6,07*	**7,23**	5,53
Udine	**7,31**	5,41*	7,10	6,39	5,07	4,64
Peißenberg .	**11,25**	8,57	**7,94**	**8,55**	6,63	**6,70**
St. Bernhard	**8,26**	6,64	6,63	5,32	4,80*	5,91

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Genf	4,83	4,54	5,74	3,96*	5,71	7,40
Klagenfurt .	4,77	4,97	4,57	5,58	4,12*	9,40
Udine	4,34*	5,41	4,12*	4,81	6,70	7,00
Peißenberg .	5,63	6,34	6,08	7,12	6,81	9,73
St. Bernhard	6,12	4,27*	5,65	5,02	8,17	7,67

Der Unterschied an den einzelnen Orten ist nicht sehr groß, auffallend aber die ungleiche Vertheilung des Minimums, wie er überhaupt auf der ganzen Erde nicht sehr groß ist, wenn man den Betrag der Differenz der Mittelwerthe für verschiedene Orte dabei vergleicht. Die Maxima von 88 Stationen, die Dove verglichen, nämlich 15,58 und 12,22° R. für den Monat Jan. treffen auf Petersburg und Berlin, das Minimum 3,38 auf Florenz. Mit Recht bemerkt Dove, daß aus den großen Unterschieden in dieser Beziehung wohl hervorgehe, wie schwierig es sei, die mittlere Temperatur gerade der Wintermonate richtig zu bestimmen. Es ist wohl nicht zu viel gesagt, daß dazu eine mindestens 50jährige Beobachtungsreihe erforderlich sein dürfte, eben weil excessive Kälte- wie Wärmeperioden in kürzeren Intervallen kaum wiederkehren, und bei der so außerordentlichen Verschiedenheit in den Witterungsverhältnissen der einzelnen Winter eine Ausgleichung der Abweichungen nur durch die Bildung einer Summe aus sehr vielen Jahren erwartet werden kann.

Die Verhältnisse des Luftdruckes und der Winde.

Aehnlich den Schwankungen in der Temperatur zeigen sich auch die Veränderungen des Luftdruckes in unseren Breiten außerordentlich wechselnd und unbestimmt. Will man daher den mittleren Barometerstand eines Ortes durch Beob-

achtungen bestimmen, so bedarf es dazu ebenfalls einer sehr großen Anzahl von Jahre lang fortgesetzten Aufzeichnungen des Standes desselben. Jedoch findet gegenüber den Temperaturverhältnissen eines Ortes der wesentliche Unterschied statt, daß der Einfluß der Höhe eines Ortes auf den Stand des Barometers ein ganz scharf bestimmbarer ist, der ganz festen Gesetzen folgt. Kennt man daher die Höhe eines Ortes über dem Meere, so kann man daraus mit Sicherheit den mittleren Barometerstand eines Ortes berechnen. Sehr häufig schlägt man aber bekanntlich den umgekehrten Weg ein und benützt das Barometer zur Berechnung der Höhe eines Ortes, indem man gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten, einem höheren und einem tieferen, den Stand dieses Instrumentes beobachtet, von denen einer, in der Regel der letztere, eine bekannte Höhe über dem Meere hat. Eine große Anzahl der Alpengipfel sind nur auf diese Weise gemessen worden. Längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen lassen erkennen, daß auch der mittlere Barometerstand mit den Monaten wechselt, im Allgemeinen mit der steigenden Temperatur höher wird, mit der sinkenden sich erniedrigt; doch erleidet auch dieses Gesetz mancherlei Ausnahmen.

Wir setzen zur Bestätigung dieses die mittleren Barometerstände in Par. Linie einiger Orte her, von denen wir oben die monatlichen Temperaturmittel gegeben haben und lassen sie nach ihrer Höhe auf einander folgen: die Barometerstände für den Theodulpaß sind in ähnlicher Weise aus den Beobachtungen für den St. Bernhard korrigirt, wie die Mitteltemperaturen.

	Mailand	Genf	München	St. Gallen	Peißenberg	St. Gotth.	St. Bernh.	Theodul
Höhe (Par. F.).	431	1253	1573	1631	3015	6650	7668	10260
Januar . . .	333,12	323,26	317,66	310,73	299,26	260,14	248,20	222,74
Februar . . .	— 32,91	— 20,99	— 18,21	— 11,52	— 98,34	— 59,27	— 48,22	222,52
März	— 32,52	— 22,02	— 17,28	— 11,26	— 98,12	— 58,80	— 48,37	221,64
April.	— 31,89	— 21,25	— 17,04	— 10,49	— 99,29	— 61,89	— 48,92	222,94
Mai	— 32,47	— 21,34	— 17,63	— 11,16	— 99,79	— 62,39	— 49,05	223,90
Juni	— 32,71	— 22,25	— 18,05	— 11,82	300,33	— 62,83	— 50,70	226,20
Juli	— 32,77	— 22,55	— 17,87	— 12,43	301,53	— 63,88	— 51,66	226,00
August	— 33,02	— 22,48	— 18,43	— 12,08	300,87	— 63,81	— 51,81	226,07
September . .	— 33,06	— 22,26	— 18,32	— 12,18	300,88	— 62,70	— 51,26	225,50
Oktober . . .	— 33,37	— 21,58	— 18,08	— 13,05	300,06	— 62,08	— 49,86	224,26
November . .	— 33,12	— 28,86	— 17,49	— 11,98	298,98	— 60,49	— 49,15	223,70
Dezember . .	= 33,59	— 22,92	— 17,48	— 11,78	99,00	— 69,52	— 48,89	222,08
Mittel	332,88	321,98	317,79	311,71	299,37	261,56	249,72	223,96

An allen Orten der Erde machen sich außer den beiden die Witterungsverhältnisse vorzugsweise beherrschenden großen Hauptluftströmungen, welche den Kreislauf der Atmosphäre ausmachen, der Polarströmung und der Aequatorialströmung, noch andere mehr lokale Einflüsse hinsichtlich der Bewegung des Luftmeeres und des Luftdruckes bemerklich. Wir können sagen, jede Verschiedenheit des Bodens bedingt eine Verschiedenheit der Temperatur in der über demselben sich befindenden Luftsäule und wiederum jede Verschiedenheit der Temperatur benachbarter Luftsäulen eine Bewegung derselben. Es wird von dem Grade dieser Verschiedenheiten abhängen, ob und wie stark sich eine solche durch lokale Ursachen erzeugte Bewegung bemerklich macht. Daß in den Alpen, wo die größten Bodenverschiedenheiten auf den kleinsten Raum zusammengedrängt sind, wie z. B. nackte in der Sonne bis über 50° sich erhitzende Geröll- und Sandmassen nicht weit von dem Eise von Gletschern sich befinden, auch solche lokale Einflüsse oft sehr stark sich zeigen, bedarf wohl keiner Erwähnung. Manche Erscheinungen an den die hohen Berggipfel umlagernden Wolkenmassen finden in solchen lokalen Luftströmungen die befriedigendste Erklärung. Aber auch in den großen Kreislauf der Atmosphäre greifen die Zinnen des Gebirges mächtig ein und bedingen dadurch den großen Unterschied, der sich diesseits und jenseits der Alpen und wieder innerhalb des Gebirges zwischen verschiedenen Stellen desselben zu erkennen gibt. Wie ein auf dem Grunde eines Baches liegender Fels oder eine Klippenreihe im Strom hemmen sie die Fortbewegung des Luftstromes, lenken denselben ab und zwingen ihn, in manchen Thälern selbst in entgegengesetzter Richtung sich zu bewegen, so daß in vielen Thälern im Innern des Gebirges nur Winde in der Richtung derselben aufwärts oder abwärts beobachtet werden.

Durch den Kampf der beiden Luftströmungen, der polaren und äquatorialen, und die durch das Gebirge erzeugten Ein-

flüsse auf dieselben gestaltet sich die Windrichtung in dem Gebirge daher oft auf das allerwunderlichste selbst in den höheren Regionen. Wir geben in der folgenden Tabelle eine Zusammenstellung der vorherrschenden Windrichtung für die 6 höchsten meteorologischen Stationen der Schweiz nach Dollfuß-Ausset vom August 1865—Juli 1866, woraus diese Unregelmäßigkeiten aufs deutlichste hervorgehen. In der 7. Zeile („ganze Schweiz") ist die vorherrschende Richtung aus allen 80 Stationen der Schweiz abgeleitet.

	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.
Theodul	W	O	SW	SW	O	SW
St. Bernhard	SW	NO	SW	SW	NO	NO
Julier	SW	SW	O	O	O	
St. Gotthard . . .	N	N	N			
Bernardin	N	S	S	S	N	
Simplon	SW	SO	S	SW	SW	SW
Ganze Schweiz . . .	SW	NO	SW	SW	NO	SW

	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
Theodul	SW	SW	SW	NO	SW	O
St. Bernhard	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Julier						
St. Gotthard						
Bernardin						
Simplon	SW	SW	SW	S	SW	S
Ganze Schweiz . . .	SW	SW	SW	NO	SW	SW

Bedenkt man, daß die Entfernung des St. Bernhard und des Simplon vom Theodulpaß beinahe ganz gleich ist und nur 5 5/8 g. M. beträgt und doch eine so große Ungleichheit in der vorherrschenden Windrichtung sich bemerklich macht, daß z. B. 7 Monate auf dem St. Bernhard gerade die entgegensetzte Windrichtung wie auf dem Theodul sich bemerklich macht, so wird sich daraus der große Einfluß auch der einzelnen Theile des Gebirges auf die Windrichtung sofort erkennen lassen.

Daß dadurch natürlich auch die Stärke des Windes wesentlich beinflußt werde, braucht wohl kaum einer besonderen Erwähnung. Namentlich an den Stellen, wo der vorher eingeengte Luftstrom Bahn findet, oder wo er wie von einer Wand an einer hohen Kette abprallend seitwärts einen Paß findet, über den er in ein Thal hinabstürzen kann, hausen die Stürme oft mit unglaublicher Gewalt. So ist der obere Theil des Ferret-Thales auf der Südseite des Mont Blanc und der Paß aus demselben in das Val d'Entremont von den wüthendsten Stürmen heimgesucht, die mit solcher Gewalt hier über den Boden hinfegen, daß die Hirten genöthigt sind, Höhlungen in demselben zu graben, die ihnen während seiner Herrschaft Schutz gegen seine Wuth verleihen. Auch auf bedeutenden Höhen entstehen oft bei dem Kampfe einander widerstrebender Luftströmungen die heftigsten Orkane. Von beiden Seiten eines Bergrückens jagen die Luftmassen in wildem Wettlaufe den Gipfel hinan, um auf und über demselben mit einander zu ringen. Zeuge eines solchen Kampfes war einmal der unerschrockene Hugi nahe dem Gipfel des Finsteraarhorns, der sein Leben in die größte Gefahr brachte. Das Tremolathal ist eben wegen solcher heftigen Stürme so gefürchtet, und selten vergeht ein Winter, wo nicht durch diese heftigen mit Schneewehen verbundenen Stürme Menschenleben zu Grunde gehen.

Unter den mancherlei den Alpen eigenthümlichen, d. h. mit besonderen Eigenschaften versehenen Winden ist wohl keiner, der mehr genannt wird, als der Föhn der Schweizer, der schon zu den interessantesten meteorologischen Discussionen Veranlassung gegeben hat. Sehen wir, ehe wir auf diese eingehen, etwas näher die Erscheinungen an, welche er darbietet, zunächst seinen Lauf und seine geographische Verbreitung. Er zeigt sich als ein von der Südseite der Alpen kommender Wind, der durchschnittlich etwa 30° nach Osten aus der Richtung der Nordsüdlinie abweicht. Am häufigsten und stärksten zeigt er sich in einem Streifen, der vom Gotthard zum Vierwaldstädter- und Zuger-See westlich und vom Splügen über Chur das Rheinthal abwärts östlich reicht. Doch kommt er auch weiter westlich und östlich noch vor, dort namentlich das Saanethal, wo er einen südnördlichen Verlauf hat, hier noch das der Landquart durchziehend. Auch in Tirol und Südbayern sind ähnliche Winde wie der Föhn noch häufig zu beobachten. Natürlich macht sich dieser äquatoriale Luftstrom noch weit hin bemerklich, aber die Eigenthümlichkeiten, die er in der Schweiz hat, gibt er allmälig auf seinem Zuge auf. Schon die ihm vorausgehenden Zeichen sind sehr charakteristisch, besonders im Winter. Der vorher heitere Himmel fängt in der Höhe an sich zu trüben, Federwolken bilden sich bei vollkommener Windstille. Das Barometer zeigt sein Nahen durch ein rasches Sinken an. Allmälig steigt er in die tieferen Luftschichten herab, auf den höchsten Kämmen sieht man Schneewirbel entstehen, schon lassen sich einzelne heulende Windstöße verspüren und nun fängt auch das Thermometer an seine Wirkung zu spüren und geht rasch in die Höhe. Ist er endlich vollends ganz heruntergestiegen, so weht er je nach der Enge und Richtung des Thales mit furchtbarer Gewalt wie nicht leicht ein anderer Wind. Hält er länger an, so ist namentlich am Ende des Winters sein Einfluß auf

die Schneemassen wie auf die Vegetation sehr bemerklich. Die ersteren schmelzen sichtlich zusammen, die letztere macht bei der großen Wärme, die er bringt, rasche, dem Landmann meist sehr unerfreuliche Fortschritte. Besonders gefürchtet ist er in den Thälern, welche er am heftigsten durchzieht, wegen der Feuersgefahr, die er mit sich bringt. In manchen Orten durfte früher während der Herrschaft eines stärkeren Föhnes gar kein Feuer angezündet werden. Noch jetzt gibt es an vielen derselben sog. Föhnwächter, die über die genaue Einhaltung aller Vorschriften hinsichtlich des Feuers Sorge tragen. Wie nöthig solche außergewöhnliche Maßregeln sind, zeigte der Brand von Glarus im Mai 1864, der fast das ganze Städtchen in kurzer Zeit in Asche legte.

Genaue Beobachtungen lassen folgende Straßen, auf welchen der Föhn in die Schweiz eintritt, erkennen. Am weitesten in Westen geht er auf der Westseite des Mt. Blanc durch das Chamounythal über den Col de Balme und das Trientthal. Stärker als dieser Zweig ist der durch das Val Ferret südlich vom Mt. Blanc zwischen diesem und dem St. Bernhard sich hindurchstürzende Theil. Die hohe Mauer der Penninischen Alpen bieten dem Föhn ein gewaltiges Hinderniß, so daß nur einige schwächere Strömungen über den Bernhardpaß und östlich von demselben herüberdringen. Ebenso geht über das Matterjoch ein Zweig in die Visperthäler. Der volle Strom ergießt sich dagegen in der Einsattelung, welche das Alpengebirge östlich vom Monte Rosa erkennen läßt, über den Orta-, Langen- und Komersee und dringt in alle die Querthäler, welche nach Norden, Nordosten und Nordwesten verlaufen, wie das Hasli-, Engelberger-, Reuß-, Glarner- und Rheinthal. Die Bernina und der Ortles bilden im Osten eine mächtige Schranke und hemmen seine weitere Ausbreitung.

In der Schweiz, nachdem er das Gebirge von Süden her erstiegen, zeigt der Föhn sich als ein warmer und trockener Wind. Wo kommt nun derselbe her? Diese Frage hat zu langen Diskussionen und zum Theil stürmischen Erörterungen Veranlassung gegeben. Hinsichtlich seines Vaterlandes waren zwei Meinungen aufgestellt. Nach der einen sollte er ein Wüstenkind, aus der Sahara stammend sein, nach der anderen wäre seine Heimat der westliche atlantische Ocean in der Gegend der Antillen.

Die letztere, auf den ersten Anblick etwas befremdliche Angabe stützt sich auf eine Thatsache, nach welcher jeder äquatoriale Luftstrom bei seinem Zuge nach den Polen zu bedeutend aus seiner Richtung von Süd nach Nord abgelenkt und allmälig in einen Westwind verwandelt wird.

Wie jeder auf der Erde ruhende Körper, wie die Oceane nimmt natürlich auch das Luftmeer Theil an der Umdrehung der Erde. Jeder Punkt derselben beschreibt demnach in 24 Stunden einen Kreis, dessen Halbmesser diejenige Linie ist, welche von dem fraglichen Punkte senkrecht auf die Erdachse P P′ gezogen wird.

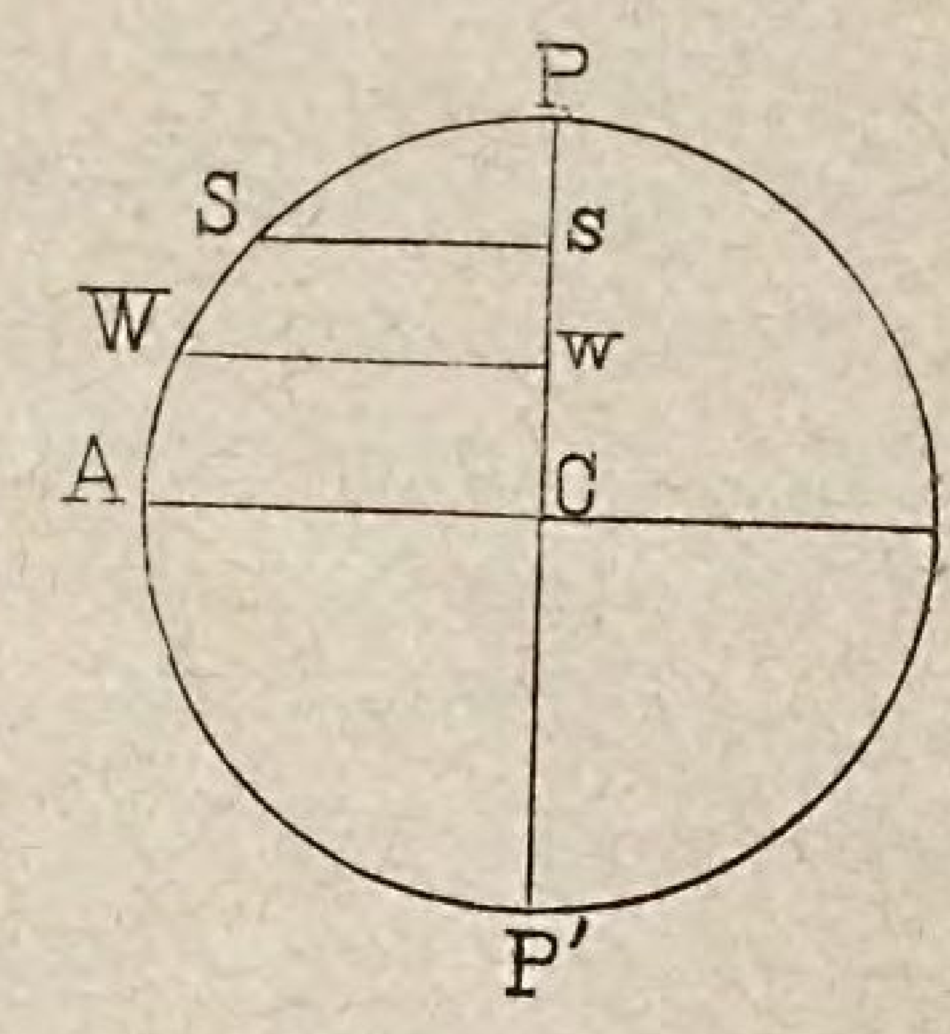


Fig. 30.

Die Figur zeigt sofort, daß diese Geschwindigkeit von dem Aequator nach den Polen zu beständig abnimmt. Ein Punkt des Aequators legt in 24 Stunden 5400 g. Meilen zurück, ein Punkt unter 45° bei S nur einen Kreis von dem Halbmesser Ss, der sich zu 608,81 g. Meilen berechnet, also einen Kreis von 3820,8 g. Meilen.

Unter den Wendekreisen beiläufig 23½° in W der Fig. ist der Halbmesser 788,67 g. Meilen, der Kreis demnach 4561 g. Meilen. Wenn nun eine Luftmasse unter den Wendekreisen sich erhebt und gegen Norden zieht, so ist offenbar,

daß sie hier in Gegenden kommt, die sich langsamer von West nach Osten bewegen, als sie selbst, und wir können, wenn wir für die Geschwindigkeit ihrer nordsüdlichen Bewegung eine bestimmte Größe annehmen, den Weg bestimmen, den eine solche Luftmasse zurücklegen muß, wenn sie allein unter dem Einflusse dieser beiden Bewegungen stände. Nehmen wir z. B. an, es sei in der folgenden Fig. a ein Lufttheilchen des Wendekreises Ww. In einer Stunde legt dasselbe durch die Umdrehung der Erde 205 g. Meilen zurück, während ein Punkt e des 45. Breitegrades Bb der Figur nur 158 Meilen

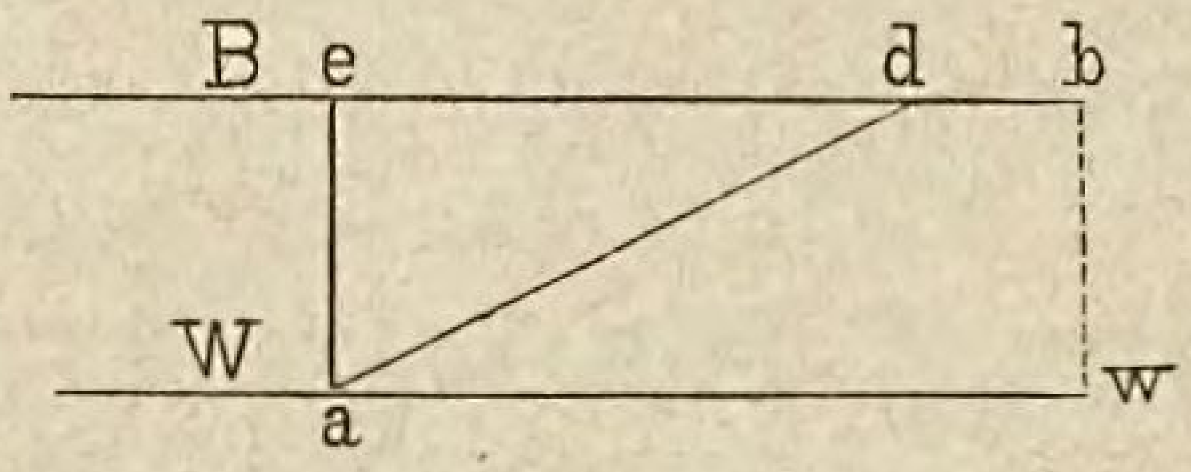


Fig. 31.

macht, also 47 Meilen weniger. Wenn wir nun wissen wollen, welchen Weg das Lufttheilchen a unter unserer obigen Voraussetzung zwischen dem Wendekreise und dem 45. Breitegrade macht, so müssen wir zuvor wissen, wie lange es braucht, um von ersterem zu letzterem zu gelangen. Nehmen wir z. B. an, es brauche von W nach B so lange, daß es während dem um das Stück ed vor e voraus wäre, so würde ad seine Bahn sein. Es ziehe nun in der Richtung von Süd nach Nord von a nach e mit einer Geschwindigkeit von 6 Fuß in der Sekunde oder 1 Meile in der Stunde, so würde es zu den $21\frac{1}{2}{}^{0} = 322$ M. zwischen Ww und Bb 322 Stunden brauchen. In dieser Zeit würde es aber durch die Rotationsgeschwindigkeit, die es in Ww erhalten hat, um $47 \times 322 = 15132$ Meilen mehr nach Osten gerückt sein, als ein Lufttheilchen in Bb, um diesen Betrag dem Theilchen e nach Osten vorangeeilt sein. Dieser ist aber so groß, nämlich 15134 g. M., daß demnach in dieser Zeit das Theilchen a

3 mal um die ganze Erde den Breitegrad eb zurückgelegt, in Folge der Zusammenwirkung mit dem Zuge von Nord nach Süd in einer eng gewundenen Spirallinie 3 mal um die Erde sich bewegt hätte. Wir sehen daraus jedenfalls so viel, daß der Betrag, um welchen ein den Wendekreisen entstammendes Lufttheilchen einem unter 45° Br. voraneilt, ein sehr bedeutender ist, aber auch ebenso, daß unsere obige Voraussetzung nicht richtig ist und daß wir im Allgemeinen den wirklichen Weg für ein von südlicheren Breiten kommendes Lufttheilchen nicht berechnen können. Offenbar muß ein solches Lufttheichen seinen Ueberschuß an Geschwindigkeit nach und nach verlieren. Es bewegt sich ja nicht im leeren Raum, sondern über und neben anderen Lufttheilchen, an denen es sich reibt, wodurch es in seiner Bewegung verlangsamt wird. Wie groß aber diese Verlangsamung sei, darüber können wir keine bestimmten Angaben machen, und eben deswegen auch den Ausgangspunkt eines zu uns als Südwest- oder Westwind gelangenden äquatorialen Luftstromes nicht bestimmen. Jedenfalls ist es aber nach dem Vorausgehenden viel wahrscheinlicher, daß der Ausgangspunkt des Föhnes viel weiter westlich zu suchen sei, als in der Sahara.

Dafür sprechen auch noch andere Erscheinungen. Auf der Südseite der Alpen, von der der Föhn zunächst kommt, ist derselbe nämlich *nicht* trocken, wie im Norden der Alpen, sondern *feucht*. Auch dies verbietet, seine Heimat in der furchtbar trockenen Wüste zu suchen. Wie aber die feuchte Aequatorialströmung in den trockenen warmen Föhn übergehe, dafür geben wir am besten eine Erklärung mit den einfachen klaren Worten *Lommel's**). „Um diese Frage zu beantworten, müssen wir untersuchen, welche Aenderungen der Aequatorialstrom erleidet, wenn er die Alpenkette zu über-

---

Lommel, Wind und Wetter, S. 147

steigen gezwungen wird. Von Südwesten her am Südabhang der Alpen angekommen, biegt er in die Thäler ein, welche immer enger werdend zu den Pässen hinaufziehen. Der Erhebung des Thalgrundes folgend steigt er stets höher und kühlt sich dabei ab aus zwei Ursachen: einmal, weil er sich mit der kälteren Gebirgsluft mischt und mit den kalten Gipfeln, den Schneefeldern und Gletschern in Berührung kommt, und dann, weil die emporgestiegene Luft unter dem in jenen hohen Regionen geringern Druck sich ausdehnt und in Folge dieser Ausdehnung erkaltet. Die kälter gewordene Luft aber vermag den Wasserdampf, den sie bei höherer Temperatur in sich aufnahm, nicht mehr zu fassen; sie scheidet ihn in Form von Wolken aus; Regengüsse überschwemmen das Thal, Schneemassen hüllen die Kämme und Gipfel ein. Die Wärmemenge, welche der mitgebrachte Wasserdampf bei seiner Entwicklung aus dem tropischen Meere verbrauchte und gebunden fortführte, wird jetzt, wo er in den flüssigen Zustand zurückkehrt, wieder freigegeben und so wird der Wärmeverlust, welchen der Luftstrom bei seinem Emporsteigen erleidet, wenigstens theilweise wieder gedeckt.

Wenn also der Luftstrom über den Gebirgskamm wegblasend auf die Nordseite der Alpenkette übertritt, hat er den größten Theil seines Wasserdampfes in Form von Regen und Schnee auf der Südseite zurückgelassen, dagegen einen Theil der in diesem Wasserdampf gebundenen Wärme zurückbehalten. Herrscht nun, aus irgend einer Ursache, auf der Nordseite der Alpen ein geringerer Luftdruck als auf der Südseite, so werden die über die Paßhöhe strömenden Luftmassen in den luftverdünnten Raum der nördlichen Alpenthäler gleichsam herabgesaugt; der Luftstrom weht mit erneuter Kraft längs der Thalsohle hinab und gelangt sehr rasch aus der Höhe des Gebirgskammes in die Niederung des Thales. Die Luft des Thalgrundes, obwohl im Vergleich zu ihrem gewöhnlichen

Zustande verdünnt, ist dennoch bedeutend dichter als die dünne Luft der Berghöhen. Indem nun diese aus der Höhe in die Tiefe gleichsam hinabgeschleudert wird, muß sie durch den hier herrschenden stärkeren Luftdruck zusammengepreßt werden, bis sie eine diesem Drucke entsprechende Dichte angenommen hat. Bei dieser Zusammenpressung gewinnt sie aber zum großen Theil die Wärmemenge wieder, welche sie jenseits durch ihre Ausdehnung beim Emporsteigen verlor; ja sie würde die ganze bei der Ausdehnung verbrauchte Wärmemenge wieder erlangen, wenn diesseits derselbe Luftdruck herrschte wie jenseits*). Diese beim Herabsteigen wieder gewonnene Wärmemenge im Vereine mit derjenigen, welche, wie oben gezeigt, bei der Verdichtung des Wasserdampfes frei wurde, reicht aber vollkommen aus, um die hohe Temperatur des über die Alpen gestiegenen Aequatorialstromes zu erklären. Da derselbe den größten Theil seiner Feuchtigkeit in Form von wässerigen Niederschlägen auf der Südseite der Alpen zurückgelassen hat, so muß er in den nördlichen Alpenthälern mit einer weit geringeren Dampfmenge beladen eintreffen, als er vermöge seiner hohen Temperatur zu fassen vermöchte, d. h. er muß sehr trocken sein. Er besitzt sonach alle Eigenschaften, welche wir an dem Föhn beobachten, und wir dürfen sonach den Föhn als einen über die Alpen herabgestiegenen und dadurch in seinen Eigenschaften abgeänderten Theil des gewöhnlichen Aequatorialstroms betrachten. Die schweizerischen meteorologischen Stationen liefern für die Richtigkeit

*) Nach Berechnungen Dufour's muß eine Luft, welche in 10000 F. Höhe bei einem Barometerstand von 530 mm. 3° R. hat, in einer Höhe von 1700 F. bei einem Drucke von 713 mm. 27,6° R. zeigen. Nach Wild eine Luft, die mit 5° Wärme vom Gotthard sich herabstürzt, in Altorf 29° haben. 21° Differenz wurden auch direkt beobachtet. Anm. d. Verf.

dieser Anschauung zahlreiche Belege. Jedesmal, wenn in den nördlichen Alpenthälern der trockne Föhn wüthet, weht auf der Südseite der Alpen bei bedecktem Himmel und unter reichlichen Regengüssen der gewöhnliche feuchte Aequatorialstrom." — Wie die Schweizer Alpen den Aequatorialstrom beeinflussen, so haben auch die äußersten Ausläufer des Gebirges im Osten eine ähnliche Wirkung auf den Polarstrom. Indem sie dem Vorrücken desselben in seiner normalen Richtung von Nordost nach Südwest sich entgegenstellen, stauen sie denselben theilweise auf und zwingen ihn, sich mehr nach Süden zu wenden. So eingeengt stürzt er sich auf den wenigen Bahnen, die ihm frei sind, mit großer Gewalt nach Süden und erzeugt so die unter dem Namen Bora bekannten, am Nordende des adriatischen Meeres besonders heftig auftretenden kalten Winde.

Die Gewalt der Winde ist abhängig von ihrer Geschwindigkeit. Ueber beides haben wir noch nicht ganz sichere Resultate, da die Methoden der Beobachtung und Messung manches zu wünschen übrig lassen. Ein kaum merklicher Luftzug macht 1½ F. in einer Sekunde, ein mäßiger Wind 6 F., ein lebhafter Wind 30 F. Geht die Geschwindigkeit über 60 F., so wird der Wind zum Sturm, und ein Orkan macht 111, ja bis 140 F., welche letztere Geschwindigkeit nur den Orkanen der heißen Gegenden zukommt. Der furchtbare Orkan vom 29. Nov. 1836, welcher über England und Norddeutschland hinzog, war Morgens 10 Uhr in London, um 1½ Uhr in Amsterdam, um 6 Uhr in Hamburg, um 9½ in Stettin. Er machte also 110 F. in einer Sekunde. Nach den Untersuchungen der Gebrüder v. Schlagintweit zeigen sich in den Alpen Stürme von 95 bis 114 F. nicht sehr selten. Bei einer Geschwindigkeit von 1½ F. in der Sekunde beträgt der Druck auf einen Quadratfuß etwa 1 Loth, bei 60 F. schon von 10 Pfund, bei einem Orkan von 120 F.

etwa 36 Pfund. Die Wirkung eines solchen auf Dächer, Mauern und Bäume ist daraus wohl erklärlich, ebenso aber auch auf die Schneemassen, welche die Gipfel und Kämme der Berge bedecken. Wer auch nur in den ebenen Gegenden die Wirkung eines heftigen Windes auf Sand und Staub beobachtet, wird leicht ermessen können, welche ungeheuere Massen des leichten Schnees durch einen der wüthenden Stürme emporgehoben und in Schluchten und Thälern wieder abgesetzt werden. Ein nicht geringer Theil der Schneemassen in den großen Firnmulden verdankt seinen Ursprung den Winden, welche ihn von den hohen Zinnen und Wänden um diese Mulden herum herabstürzen. Die übermäßige Anhäufung des Schnees auf den höchsten Gipfeln wird wesentlich durch die Stürme verhütet, welche ihn in tiefere Gegenden hinabtragen, aus denen er theils durch die Wärme, theils durch die Gletscher weiter hinab und durch Bäche und Flüsse wieder dem allgemeinen Kreislaufe des Wassers zugeführt wird.

Die atmosphärischen Niederschläge.

Schon mehrmals hat uns die Betrachtung der Temperaturverhältnisse und Winde auf die atmosphärischen Niederschläge zu sprechen gebracht, die wir nur als eine Folge von Temperaturveränderungen in der Luft ansehen können. Wir können die Bedingung, unter welcher ein Niederschlag erfolgt, kurz so aussprechen: So oft sich die Temperatur einer Luftmasse mit bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt so weit erniedrigt, daß sie diesen ganzen Gehalt an Wasserdampf bei den neuen Verhältnissen der Wärme und des Druckes nicht mehr aufgelöst erhalten kann, erfolgt ein Niederschlag des Wassers aus derselben.

Eine Erniedrigung der Temperatur kann nun in verschiedener Weise stattfinden, wie wir es schon bei den Verhältnissen des Föhns zu erwähnen Gelegenheit hatten, und

findet in dem Gebirge auf vier Arten statt. 1. Durch Ausstrahlung von Wärme in den kalten Weltraum bei Nacht, wodurch der Thau und Nebel erzeugt wird. 2. Durch Berührung mit kälteren Körpern, z. B. mit Schnee und Eis. Das Anlaufen der Fenster gibt uns hiefür ein Beispiel im Kleinen. 3. Durch Ausdehnung beim Aufsteigen in höhere Gegenden. 4. Durch Vermischung mit einer kälteren Luftströmung.

Der Menge nach die bedeutendsten Niederschläge kommen durch die letztere Ursache zu Stande, obwohl gerade diese auf den ersten Blick am wenigsten begreiflich sind. Sie würden auch nicht entstehen, wenn die Temperatur der Luft und ihre Fähigkeit, Wasserdampf aufgelöst zu erhalten, in gleichem Verhältnisse ab- und zunähmen. Das ist aber nicht der Fall. Wenn sich z. B. die Lufttemperatur um die Hälfte erniedrigt, nimmt die Fähigkeit, Wasserdampf aufgelöst zu erhalten, um ein Bedeutendes mehr als die Hälfte ab.

Ebenso verhält es sich auch mit der Spannkraft des Wasserdampfes; auch diese wächst nicht in gleichem Verhältnisse mit der Temperatur. Pressen wir Wasserdampf von gewisser Temperatur, so bemerken wir, daß wenn der Druck eine bestimmte Größe überschreitet, ein Theil des Wasserdampfes ausgeschieden und flüssig wird. Den Druckgrad, welchen Wasserdampf bei einer gewissen Temperatur gerade noch aushält, ohne tropfbar flüssig zu werden, nennt man seine Spannkraft. Man bezeichnet dieselbe am bequemsten, um sie mit dem Drucke der Atmospäre vergleichen zu können, dadurch, daß man angibt, wie hoch die Quecksilbersäule sein würde, welche er gerade zu tragen vermöchte. Enthält eine bestimmte Luftmasse so viel Wasserdampf, als sie dem Druckgrade, unter dem sie steht und der Temperatur gemäß, die sie hat, gerade aufgelöst erhalten kann, so sagt man, sie sei auf ihrem Sättigungsgrade. Folgende kleine Tabelle gibt nun an, wie viel eine mit Wasserdampf gesättigte Luft in einem Kub.-

Meter dem Gewichte nach (in Gramm) Wasserdampf enthalte und zugleich wie groß dann die Spannkraft derselben, in mm. Quecksilber ausgedrückt, sei.

Temperatur	Spannkraft	Gewicht
— 10°	2,4	2,9
0	5,0	5,4
6	7,2	7,7
12	10,7	10,9
18	15,4	15,3
24	21,8	21,3
30	30,6	29,4

Man sieht daraus sofort, daß während die Temperatur von 0 an in jeder folgenden Reihe um gleichviel steigt, dies für Spannkraft und Menge nicht statthat. Denken wir uns z. B. einen Kub. Meter Luft von 24° Wärme mit einem von 0 Grad, beide mit Wasserdampf gesättigt, sich mischend, so wird die Temperatur beider $= \frac{24 + 0}{2} = 12$ werden, die Menge des im Gemische enthaltenen Wasserdampfes aber $\frac{21{,}3 + 5{,}4}{2} = 13{,}35$. Da nun ein Kub. Meter Luft bei 12° nur 10,9 Gramm Wasserdampf enthalten kann, so muß nach der Vermischung beider 2mal 2,45 = 4,9 Gramm Wasser niedergeschlagen werden.

Wenn wir nun die geographische Lage des Alpengebirges ins Auge fassen, seine bedeutende Länge und Höhe, so wird es uns nicht befremden, daß gerade über ihm die Menge der atmosphärischen Niederschläge eine sehr bedeutende und sein Einfluß auf die umliegenden ebenen Länder in dieser Beziehung ein sehr eingreifender sein muß. Wir können das Gebirge, wie uns eben die beim Föhne erörterten Verhältnisse an einem Beispiele gezeigt haben, als eine Verdichtungsstätte

der von dem äquatorialen Luftstrome mitgebrachten Feuchtigkeit bezeichnen. Diese Niederschläge erscheinen in verschiedener Form, als Wolken, Nebel, Regen, Schnee und Hagel über dem Boden, als Thau und Reif auf demselben sich bildend. Die Wolken sind die am häufigsten und schon in den höchsten Höhen sich bildenden Niederschläge. Wenn nach längere Zeit bestehendem heiterem Wetter, das in unsern Breiten der andauernde trockne Polarstrom bringt, durch das Eindringen des Aequatorialstromes dasselbe sich zu ändern beginnt, so erscheinen zuerst hoch oben, die Gipfel der höchsten Berge weit übersteigend, feine weiße Streifen, die ersten in den höchsten Höhen sich bildenden Niederschläge. Sie entstehen immer in so bedeutender Höhe, weil die warme leichte Aequatorialluft im Anfang über den Polarstrom sich hinbewegt. An ihrer Berührungsstelle bilden sich die ersten Wolkenstreifen, die, wenn sie allmälig festere, streifige Formen erkennen lassen, als Cirri bezeichnet werden; die „Schäfchen", wie sie bei uns genannt werden, gehören ebenfalls hieher. Nach Messungen von Pouillet soll ihre Höhe bis zu 36000 Fuß betragen. Sicher ist es, daß sie auch über die höchsten Gipfel der Anden noch sich erheben, dieselben nicht einhüllen. Dringt dann diese Vermischung der beiden Luftströme weiter nach abwärts, so bilden sich immer massigere Wolken; die tiefsten gehen bis zu 3000 F. herab. Die höchsten Wolken bestehen wahrscheinlich stets aus feinen Eisnädelchen, während die tieferen aus äußerst kleinen Wasserbläschen bestehen. Ihrer Zusammensetzung nach besteht kein Unterschied zwischen Wolke und Nebel, sondern nur dem Orte ihrer Entstehung nach, indem wir nur die in der Tiefe auf dem Boden sich bildenden und von unten nach oben sich ausdehnenden Niederschläge als Nebel bezeichnen, während wir die in der Höhe entstandenen und in der Regel nach unten hin wachsenden Wolken nennen. Man könnte diese Verwandtschaft beider

auch so ausdrücken: Der Nebel ist eine in der Tiefe sich bildende Wolke, und die Wolke ist ein in der Höhe entstandener Nebel.

Wolken und Nebel sind häufig nur lokale Erscheinungen, durch eben solche auf kleine Strecken beschränkte Luftströmungen bedingt; wer im Gebirge längere Zeit an einer Stelle seine Umgebung näher beobachtet, wird die Einflüsse auf- und absteigender Luftströmungen im Kommen und Gehen, Steigen und Sinken der Wolken wohl bemerken können. In manchen Gegenden liefert das Erscheinen solcher lokaler Wolkenbildungen, die Gestalt und Ausdehnung, die sie annehmen, den Bewohnern derselben ziemlich sichere Anhaltspunkte zur Vorausbestimmung von Witterungsänderungen. Im Allgemeinen nimmt die Nebelbildung mit der Höhe zu, doch sind andere lokale Verhältnisse oft von größerem Einflusse, z. B. die Nähe großer Wassermassen, die Richtung der Thäler und herrschenden Winde. Die Zahl der Nebeltage betrug z. B. nach den Zusammenstellungen von Dollfuß 1865—1866

auf dem Theodulpaß	184
„ „ St. Bernhard	100
„ „ Simplon	74
„ „ St. Gotthard	72
in Lugano	47
„ Zürich	33
„ Genf	24
„ Bern	20
„ Splügen	15
„ Sion	6
„ Andermatt	6
„ Bellinzona	1

Die am höchsten gelegenen Orte haben auch die größte Anzahl, der am niedrigsten gelegene, Bellinzona, die geringste Zahl Nebeltage; doch steht das ihm der Tieflage nach ziemlich

gleiche Lugano (es liegt nur 140 F. höher) unmittelbar hinter dem St. Gotthard und übertrifft an Zahl der Nebeltage alle andern zum Theil bedeutend höheren Orte. Es mag das übrigens auch theilweise darin seinen Grund haben, daß an andern Orten die Zahl der Regentage dafür größer angegeben ist, indem es ja in manchen Fällen zweifelhaft sein kann, ob man es mit einem Nebel oder Regen zu thun habe.

Regen und Schnee liefert die größte Menge des über und durch den Boden fließenden Wassers. Je nach der Lage der verschiedenen Orte hat der erstere oder der letztere den Vorrang vor dem andern. Wie hoch hinauf noch Regen fällt, und wo die Linie liegt, ober welcher es nur schneit, läßt sich bis jetzt nicht genau bestimmen. Jedenfalls liegt dieselbe hoch über der Schneelinie, denn selbst auf dem Theodulpaß regnete es im Juni, Juli und August öfter, aber vom September bis Mai fiel nur Schnee. Die Menge des Regens und Schnees ist in unseren Breiten eine außerordentlich wechselnde für die einzelnen Monate, auch für die einzelnen Jahre. Doch ist die Abweichung vom Jahresmittel nach Procenten eine viel geringere, als die vom monatlichen. Jedermann weiß ja aus eigener Erfahrung, wie in manchen Jahren ganze Monate fast tägliche Regengüsse aufzuweisen haben, während in andern Jahren dieselben Monate beständig trockne Tage haben. Dennoch gleichen sich diese Unterschiede im Laufe des Jahres wieder etwas aus. Regelmäßiger zeigt sich schon die Vertheilung der Niederschläge, wenn man sie nach den Jahreszeiten zusammenfaßt, und es gibt sich bei der Vergleichung der einzelnen Theile des Gebirges ein beachtenswerther Unterschied zu erkennen. Im Westen und auf der Südseite herrschen nämlich die Herbstregen vor, im Osten und Norden dagegen die Sommerregen. Ebenso zeigt sich in der Art eine Verschiedenheit, daß die Menge der Regentage und die Gesammtmenge der Niederschläge, d. h. die von ihnen gelieferte

Wassermenge nicht in einem geraden Verhältnisse zu einander stehen. An dem einen Orte liefert oft ein Regentag mehr, als 20 derselben an einem andern. Wegen dieser Unregelmäßigkeit in den Regenverhältnissen kann die mittlere Regenmenge für ein Jahr auch erst nach einer längeren Reihe von Jahren zuverlässiger bestimmt werden, und wir sehen deswegen auch die Angaben über die Regenmengen immer wieder etwas verändert. Wir theilen hier zunächst eine kleinere Tabelle mit, in welcher die Regenmenge in Pariser Zoll für das Jahr und in Procenten der Jahresmenge für die Jahreszeiten angegeben ist, wobei die von dem Schnee gelieferte Wassermenge mit inbegriffen ist.

	Höhe über dem Meere	Jahr	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Nordseite.						
Genf	1253	28,00	21	29	30	20
Lausanne	1533	35,75	19	35	29	17
Freiburg	1950	44,79	26	34	28	12
Bern	1790	42,07	21	36	23	20
Zürich	1254	32,84	23	33	24	20
Peißenberg	3015	20,58	21	48	19	12
Tegernsee	2251	43,92	18	44	21	17
München	1573	31,65	22	43	23	12
Haller Salzberg	4528	46,11	24	34	20	12
Inneres Gebirge.						
St. Bernhard	7668	55,84	25	20	25	30
Altorf	1396	50,7	27	33	24	16
Sils	5543	37,00	23	31	31	15
Bevers	5245	31,5	20	35	32	13
Meran	864	29,02	32	34	22	21
Südseite.						
Turin	857	35,27	30	30	25	15
Mailand	431	35,78	24	24	31	21
Triest	—	41,18	22	24	31	23

Vergleichen wir die Alpenstationen mit den übrigen ähnlich gelegenen, so finden wir, daß das Gebirge die Niederschläge bedeutend vermehrt. Orte unter demselben Meridian südlich und nördlich vom Gebirge haben weniger Regen, als die zwischenliegenden Alpen. Die Südseite, welche zuerst die feuchten Luftmassen des Aequatorialstromes auffängt, ist viel reicher an Regen als die Nordseite. Sta. Maria auf dem Stilfser Joch hat 91,70" Niederschläge schon in einem Jahre geliefert, das ist nahezu 4mal soviel als die mittlere Menge des Regens im mittleren Deutschland; dem nahe stehen die am schweizerischen Südabhang gelegenen Stationen St. Vittore (Misox) und Castasegna mit 3347 und 2267 mm. (1872), d. i. 86 und 83 Zoll. Gerade diese Südwestwinde bringen oft in kurzer Zeit ungeheuere Massen von Regen, die dann so heftige Ueberschwemmungen erzeugen, von denen namentlich die Ostschweiz öfters heimgesucht wird, die theilweise ihren Grund in der stärkeren Abholzung der Berge haben, welche das Wasser rasch ins Thal stürzen lassen. Am St. Bernhardin fielen z. B. in dem Ueberschwemmungsjahre 1866 vom 27—28. Sept. 254 mm., das ist nahezu 10 Zoll, also fast halbsoviel als die Gesammtregenmenge des mittleren Deutschlands. Die Menge der Niederschläge vertheilt sich insofern auch sehr ungleich, als selbst die des ganzen Jahres an einem Orte unter, an einem benachbarten über dem Mittel sich halten kann. Von 23 Schweizer Stationen, von denen wenigstens 10jährige Mittel vorliegen, zeigten z. B. im Jahre 1873: 8 eine Regenmenge unter ihrem Mittel, 15 darüber, und so ungleich, daß z. B. Genf und der St. Bernhard unter, Martigny über dem Mittel hatte.

Eine Gesetzmäßigkeit läßt sich auch in dieser Beziehung nicht nachweisen.

In der vorhergehenden Tabelle ist stets die Regen- und Schneemenge zusammengenommen. Es versteht sich von selbst,

daß der Betrag des von dem Schnee gelieferten Wassers mit der Höhe zunimmt. Doch ist für wenig Punkte das Verhältniß beider genauer bestimmt.

Nach einer 13jährigen Beobachtungsreihe auf dem St. Bernhard und in Genf (1851—1863) gestaltete sich das Verhältniß vom Regen und vom Schnee in mm. folgendermaßen.

	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Genf.							
Regen . . .	34,7	47	29,9	40,4	46,1	80,4	85,2
Schnee . .	227	52	35	27	3	—	—
Summa	42	53	31	41	46	80	85
Maxim.	104	126	143	101	95	·298	165
Minim.	5,0	0,0	3,6	1,4	9,6	24,7	3,9
St. Bernh.							
Regen . . .	—	—	—	—	—	17	62
Schnee . .	830	1335	737	823	1013	779	230
Summa	72	90	58	72	93	108	94
Maxim.	192	175	147	171	222	287	172
Minim.	9,7	13,3	0,0	0,0	21,2	29,5	23,4

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Jahr
Genf.						
Regen . . .	74	85	111	105	64	803
Schnee . .	—	—	—	11	1	359 = 28 Wasser
Summa	74	85	111	107	64	0,821
Maxim.	155	314	234	278	146	1,044
Minim.	4,6	13,2	0,0	20,9	16,6	0,583
St. Bernh.						
Regen . . .	59	78	87	28	3	0,333
Schnee . .	95	65	234	872	873	7886 = 738 Wasser
Summa	77	83	107	136	81	1,072
Maxim.	215	222	262	319	168	1,502
Minim.	0,7	2,5	0,8	19,4	25,3	0,585

Das Maximum und Minimum bezieht sich auf die Summe der von Regen und Schnee gelieferten Wassermenge, während die Zahlen bei Schnee die Höhe der Schneeschichte angeben. Man sieht hier, wie schon auf dem St. Bernhard mehr als $^2/_3$ der gesammten Niederschläge in Form von Schnee ausgeschieden wird. Gemeinschaftlich haben beide Stationen, daß die meisten Niederschläge in den 3 Herbstmonaten fallen; in Genf folgen jedoch der Menge der Niederschläge nach geordnet die Jahreszeiten in der Weise, wenn wir mit der anfangen, welche das Minimum zeigt:

Winter, Frühling, Sommer, Herbst; auf dem St. Bernhard aber Winter, Sommer, Frühling, Herbst.

Vergleicht man die einzelnen Jahre mit einander, so sieht man, daß nicht einmal die Jahresmittel an diesen beiden Orten denselben Gang einhalten. Nach den Dollfuß entnommenen Werthen gestaltet sich der Gang der jährlichen Regen- und Schneemenge an beiden Orten so wie es die folgende graphische Darstellung (Fig. 32) veranschaulicht. Die ausgezogene Linie stellt den Gang für den St. Bernhard, die gestrichelte den für Genf dar.

Wenn schon in den Mittelwerthen für ganze Jahre sich solche Ungleichheiten an wenig von einander entfernten Orten herausstellen, so ist es begreiflich, daß dieselben noch größer für einzelne Monate werden und man aus dem eben an einem Orte herrschenden Wetter nicht auf ein ähnliches an einem entfernteren schließen darf. Noch größer ist natürlich die Ungleichheit zwischen dem Wetter in und außer dem Gebirge. Dort können Wochen hindurch heftige Regengüsse fallen, während in den mittleren Theilen Deutschlands große Trockenheit herrscht, und umgekehrt. Der Schnee bietet unmittelbar nach seinem Fallen eine locker aufgeschüttete Masse dar. Je kälter es ist, desto feiner und zierlicher sind die Kryställchen derselben, die man ja auch in der Ebene wohl beobachten

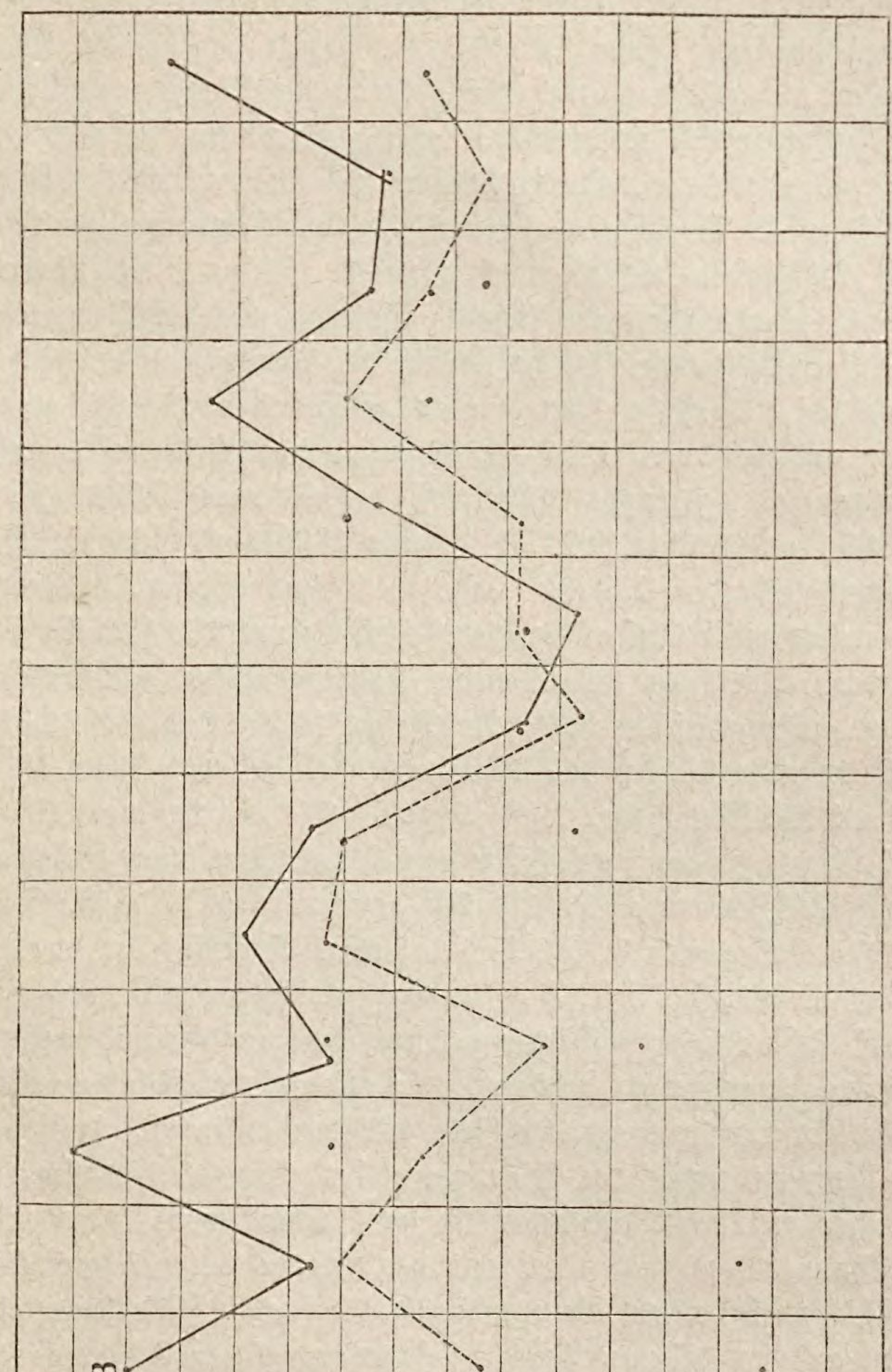


Fig. 32.

kann. Im Winter bildet der Schnee im Hochgebirge staub- oder mehlartig feine Massen, die keinerlei Zusammenhang haben und erst nach und nach, wenn die Temperatur steigt, etwas fester sich an einander legen, oder wenn sie von neu sich auflagernden weiteren Massen zusammengedrückt werden. Auf dem St. Bernhard hat man Jahre lang Beobachtungen über die Dichtigkeit des Schnees gemacht. Indem man nämlich die Dicke der gefallenen Schneemasse maß und die Menge des Wassers bestimmte, welche sie lieferte, konnte man berechnen, wie locker derselbe übereinander geschüttet war. Es ergab sich aus den von 1847—1863 zusammengestellten Beobachtungen als geringste Dichtigkeit des Schnees 0,032 (Nov. 1856), als größte (0,10, d. h. eine 1000 Zoll dicke Schichte dieses lockersten Schnees lieferte 32 Zoll Wasser, während wenn er am dichtesten lag, 1000 Zoll Schnee 100 Zoll Wasser gaben. Die Höhe des in einem Jahre gefallenen Schnees ist ganz außerordentlich hoch. Im Jahre 1853 betrug sie 14,773 Meter oder 66 F.; das Minimum fiel auf das Jahr 1857 mit 4,106 Meter oder 12 F. 5 Zoll. Die Beträge von 10 zu 10 Tagen zusammengefaßt, zeigt sich das Maximum derselben auf die Zeit vom 10. bis 20. Februar, wo 7 Schneefälle 2,370 Meter oder 7 F. 2 Zoll lieferten. Die Angaben, welche man hie und da liest, daß ein einziger Schneefall oft 4 und 8 F. Schnee liefere, scheinen demnach zu einer der unbewußten Uebertreibungen zu gehören, wie wir sie bei Schilderungen von Naturerscheinungen im Gebirge öfters antreffen. Daß sich stellenweise unter der Einwirkung des Windes die Schneemassen erstaunlich anhäufen können, bedarf wohl keiner Erwähnung; das hat aber mit der Menge des Schneefalles nichts zu thun, um die es sich eben handelte. Die bedeutenden auf den höheren Bergen sich ansammelnden Schneemassen geben Veranlassung zu Vorgängen und Erscheinungen, welche in niedrigeren Gebirgen und auf den Ebenen der warmen

und gemäßigten Zonen nicht auftreten können. Die einen sind unregelmäßig und vorübergehend, die andern regelmäßig und bleibend. Beide stimmen darin überein, daß sie die Schneemassen der Hochregionen der Tiefe zuführen, die eine Art plötzlich mit furchtbarer Geschwindigkeit, die andre anhaltend mit eben so großer Langsamkeit. Es sind die Lawinen und die Gletscher, von denen namentlich die letzteren als eine Erscheinung von der eingreifendsten Wirkung und größten Bedeutung im Haushalte der Natur sich bei näherer Betrachtung zu erkennen geben.

Die Lawinen.

Ueber die Bedeutung und Ableitung des Wortes Lawinen ist schon viel gestritten worden. Außer der gewöhnlichsten Bezeichnung und Schreibart Lawinen findet sich auch der Ausdruck „Lauinen". Nach Scheuchzer wurden auch die: Louwinen, Lauwinen, Lobinen, Läuwinen gebraucht. Die älteren schweizer Naturforscher, so Simler 1633, Wagner 1680, Scheuchzer 1723 leiten es von dem lateinischen labi, gleiten, ab und schreiben Labenae oder Labinae. Neuere, so auch Berlepsch, bringt es im Zusammenhang mit „Lau", weil sie mit Beginn der lauen Winde eintreten. Wir maßen uns kein Urtheil in diesem Streite an, und überlassen es dem Geschmacke jedes Einzelnen, ob er sich mehr auf die Seite der klassischen Philologie, welche die Haupterscheinung ins Auge faßt und zu Labinen schlagen will, oder auf Seite der modernen Naturforschung, welche den häufigsten Grund der Erscheinung als maßgebend für die Etymologie ansieht und Lauinen als Grundwort annimmt.

Unter Lawinen versteht man größere, plötzlich ins Gleiten oder Fallen gekommene Schnee- und Eismassen. Sie entstehen daher nur auf Bergabhängen, wo größere Schneemassen sich halten können und zugleich unter sich einen Boden haben,

der einem weiten Abwärtsrutschen namentlich im Anfange kein ernstliches Hinderniß bereitet. Je nach der Unterlage, auf welcher sich der Schnee befindet, und der Beschaffenheit, welche er hat, bilden sich die Lawinen in verschiedener Weise aus und haben danach auch verschiedene Namen erhalten.

Die Staublawinen. Das Material derselben bildet vorzugsweise der feine, pulverige, krystallinische, locker aufgehäufte Schnee der höheren Gegenden und des Winters. Besonders leicht entstehen diese, wenn solche Schneemassen auf älterem oberflächlich fest gefrorenen Schnee aufgelagert sind, der ihnen natürlich die wenigsten Hindernisse beim Rutschen darbietet. Ein leichter Windstoß oder der kleinste Windwirbel genügt, um zuerst eine kleine Partie in Bewegung zu versetzen, welche sich dann immer weiter und weiter fortsetzt und nach den Umständen ungeheuere Schneemassen zum Gleiten und Stürzen bringt. Wo erfahrungsgemäß die Bildung solcher Lawinen häufig eintritt, ist es allerdings geboten, möglichst geräuschlos vorüberzugehen, oder ehe man die gewöhnliche Bahn solcher Lawinen kreuzt, durch ein starkes Geräusch, wie einen Schuß eine Erschütterung der Luft zu erzeugen und abzuwarten, ob nicht eine Bewegung im Schnee entstehe. Auf dem Brenner werden dazu von vorausfahrenden Lokomotiven mit der Dampfpfeife die schrillsten Töne erzeugt, um später kommende Bahnzüge vor solchen Staublawinen zu sichern. Ihre Gewalt ist natürlich verschieden; je nach dem längeren oder kürzeren Wege, den sie zurücklegen kann, und den Massen des Schnees, die sich nach und nach zu der anfänglich stürzenden Masse hinzugesellen, ebenso nach der Neigung des Berges, von dem ihre Geschwindigkeit, der wesentlichste Faktor ihrer wegfegenden Kraft abhängt. Ihr steter Begleiter ist ein furchtbarer Windstoß, der durch die Bewegung der Lawine erzeugt wird, neben ihr hintobend die stärksten Bäume umreißt und weit hinaus über das Gebiet der Lawine

sich bemerklich macht. In jedem von Lawinen heimgesuchten Thale hört man wunderbare Berichte von diesen Wirkungen des Lawinenwindes, der Wohnhäuser wie Kartenhäuser wegbläst und Heuschuppen schon unversehrt 500 Schritt weit durch die Luft getragen hat.

Die sog. Grundlawinen entstehen später, mehr im Frühlinge, oft ziemlich regelmäßig je nach der Lage des Abhanges gegen die Sonne zu bestimmten Stunden. Der Schnee derselben, von Schmelzwasser durchdrängt, rutscht auf dem Grunde langsamer, stäubt nicht so und erregt auch wenig Wind. Lockeres Erdreich, Felsblöcke werden mit fortgenommen bis zur Thalsohle, die bis in den Hochsommer hinein oft von diesen Schneemassen bedeckt ist, die sich bald durch das Abschmelzen mit einer Schmutz- und Sandschichte überziehen, indem die in der geschmolzenen Masse vertheilten derartigen Massen sich langsam senken und so sammeln.

Als Eislawinen endlich bezeichnet man die von den jähen Gehängen herabstürzenden Eismassen, welche unter den Strahlen der Sonne gelockert, von ihrer Unterfläche sich loslösen oder abreißen und je nach ihrer Größe mit donnerndem oder in einiger Entfernung kaum hörbarem Geprassel über die großen Staffeln der Felswände herabstürzen. Die meisten Besucher der Wengern-Alp werden bei Sonnenschein solche Eislawinen beobachtet haben, die nur bei Bergbesteigungen gefährlich werden können.

So groß auch manchmal der von den Lawinen angerichtete Schaden ist, so hat Tschudi doch Recht, wenn er sie als vorwiegend nutzbringend bezeichnet, indem ohne dieses massenhafte Abgleiten großer Schneemassen manche hoch gelegene Matte ohne Vegetation bliebe, da die Wärme in diesen hohen Gegenden die Schneemassen nur langsam, in manchem Jahre kaum ganz wegschmelzen würde. So aber werden durch die Lawinen die obern Gegenden in großen Strecken

vom Schnee reingekehrt und derselbe in die Tiefe geführt, wo die Sonne bald Herr über ihn wird. Der übermäßigen Anhäufung des Schnees in der Höhe wirken auch die Lawinen entgegen, wenn auch nicht mit der Regelmäßigkeit und Ordnung wie die Gletscher, die wir jetzt noch zu betrachten haben.

Die Gletscher.

Alle Naturforscher, wie alle Freunde und Besucher des Hochgebirges stimmen darin überein, daß unter allen Erscheinungen der Alpenwelt keine sei, welche so sehr die Aufmerksamkeit eines Jeden auf sich lenke, als die Gletscher. Mousson bezeichnet sie als „die wunderbarste Erscheinung und den hervorragendsten Charakterzug der Alpenwelt" und Agassiz sagt: „Unter allen Naturerscheinungen kenne ich keine, welche würdiger sei die Aufmerksamkeit und das Interesse des Naturforschers zu fesseln, als die Gletscher." Wen je sein Fuß durch die Gletscherwelt getragen, wird dem ersteren beistimmen, und wer in der naturwissenschaftlichen Literatur der Gletscher sich etwas umgesehen, wird sich überzeugt haben, daß kein anderer Gegenstand eine solche Menge von Arbeiten hervorgerufen hat, als die Gletscher und die mit denselben zusammenhängenden Erscheinungen*). Trotzdem wird jeder Naturforscher keinen Augenblick anstehen, einzuräumen, daß noch sehr vieles an denselben unaufgehellt sei, und daß für weitere Forschungen auf diesem Gebiete noch ein reiches Feld vorhanden sei. Das Alles ist hinreichender Grund, näher auf die Verhältnisse der Gletscher hier einzugehen. Wir lassen zunächst dabei die vielen noch unerledigten oder strittigen

*) Das große Werk von Dollfuß-Ausset (9 Bde.) Matériaux pour l'étude des Glaciers führt auch sämmtliche Autoren auf, die darüber etwas veröffentlicht haben, sei es in Zeitschriften oder besonderen Schriften. Der ganze I. Theil aus 3 Bänden bestehend, ist damit angefüllt.

Fragen, welche sich bei Vorgängen derselben aufdrängen, ganz bei Seite und halten uns vorläufig lediglich an die Erscheinungen und die durch Beobachtungen festgesetzten Thatsachen.

Denken wir uns in einem Luftballon über dem Hochgebirge schwebend oder betrachten wir eine gute größere Reliefkarte, so erscheint uns die Schnee- und Eisregion des Gebirges wie ein weißer Teppich, welcher über die höchsten Höhen ausgebreitet ist und wegen der geringen — auch auf einer großen Karte kaum zu bemerkenden — Differenz der Schneelinie in verschiedenen Gegenden in einer horizontalen Linie endet. Wie durch Löcher dieses Teppichs starren hie und da steile Zacken und Spitzen aus der weißen Fläche hervor, es sind dies die schroffsten Felsmassen, auf denen der Schnee nicht liegen bleiben kann. Wie das Gebirge selbst, ist auch dieser Teppich mannigfach unterbrochen, so daß wenn man das Gebirge als ein Ganzes betrachtet, derselbe in vielen einzelnen nicht zusammenhängenden Fetzen sich darstellt. Die beiden größten zusammenhängenden Stücke desselben zeigen sich im Westen, auf den Berner Alpen und Penninischen Alpen, im Osten des Gebirges auf der Oetzthaler Gruppe und den Tauern.

Im ganzen Alpengebirge schätzt v. Schlagintweit die Bedeckung von Eis und Schnee auf 35—60 g. Q. M. Die größte zusammenhängende Masse zwischen Gemmi und Gotthard in den Berner Alpen beträgt 7,5, nach Einigen selbst 10 Q. M. Nach den größeres Zutrauen verdienenden Messungen v. Sonklar's bedecken in der Oetzthaler Gruppe 7,39 g. Q. M. Schnee und Eis, in der Stubaier 3,09, in den hohen Tauern — aber nicht in einer zusammenhängenden Masse — im Ganzen 7½ g. Q. M.

Von diesen überall in derselben Höhe endigenden Teppichen gehen einzelne Ausläufer in Streifen mehr oder weniger weit in tiefere Gegenden durch Schluchten und Thäler hinab;

diese aus Eis bestehenden Fortsätze sind die Gletscher. Saussure hat zuerst die jetzt allgemein angenommene Eintheilung der Gletscher in Gletscher I. und II. Ordnung, oder primäre und sekundäre Gletscher aufgestellt. Zu den ersteren werden diejenigen Gletscher gerechnet, welche weit in die Tiefe hinabsteigen, daher lange, meist auch sehr schwach geneigte Eisströme bilden, die Gletscher zweiter Ordnung bilden dagegen nur kurze, meist auch nur in den höheren Regionen an steileren Abhängen hängende, gewöhnlich auch aus mehr lockerem Eise bestehende Massen. Eine scharfe Grenze zwischen beiden ist jedoch auch bei dieser Eintheilung nicht zu ziehen. Wir werden im Folgenden nur die Gletscher erster Ordnung näher betrachten.

Wandern wir einen solchen von seinem unteren Ende bis zu seinem Ursprung hinan, so fällt uns sofort hinsichtlich seiner Lagerung oder seiner Form und des Materiales, aus dem er besteht, Folgendes auf.

Wie ein Fluß des Gebirges ist er in ein enges mit steilen Wänden versehenes Thal eingeschlossen, das sich bei den größten Gletschern Meilen lang, geradlinig oder gewunden hin erstreckt. Plötzlich kommen wir dann in eine kesselförmige Erweiterung oft von gewaltigen Dimensionen, rings umschlossen von den höchsten Bergwänden, die oft mauerartig dieses hoch gelegene Amphitheater umgeben. „Firnmulde“ nennen wir Deutsche sie, Agassiz hat die Bezeichnung circus (cirque) dafür gewählt. Sie fehlt keinem Gletscher erster Ordnung und ist als eine wesentliche Bedingung ihrer Entstehung anzusehen. Auch wenn wir unsere Blicke selten nach abwärts richten, bemerken wir doch, daß das Material, auf das unser Fuß tritt, ein sehr verschiedenes ist. Im unteren Theile des Gletschers ein festes, hartes Eis, geht es weiter oben in eine körnige zwischen Schnee und Eis in der Mitte stehende Masse über, den sogenannten Firn, dem dann

auf den höchsten Stellen der feine lockere Schnee folgt. Ein Weiteres, was auch die flüchtigste Betrachtung eines Gletschers selbst aus der Ferne erkennen läßt, ist das, daß derselbe vielfach zerklüftet ist, am stärksten, wo festes Eis vorhanden ist, sparsamer im Firn, und daß sich eine große Menge von Felsblöcken theils vereinzelt, theils in zusammenhängenden Linien, die wie gewaltige Wälle erscheinen, auf demselben befinden. Ist es ein warmer sonniger Tag, an welchem wir unsere Gletscherwanderung vornehmen, so hören und sehen wir bald überall Wasserfäden sich über das Eis bewegen, die sich weiter unten zu förmlichen Bächen vereinigen. Ein Theil dieser Bäche stürzt sich in die Spalten und verschwindet, andere fließen theils über die seitlichen Ränder, theils am untern Ende auf festen Boden und so bildet sich am Ende des Gletschers ein mehr oder weniger starker Bach; ja selbst den Namen Fluß verdient in manchen Fällen die gewaltige Wassermasse, welche dem Gletscherende entströmt; ein großer Theil der Alpenströme entspringt unmittelbar einem der größeren Gletscher. Wir wollen nun diese flüchtigen Beobachtungen vervollständigen und zunächst beginnen mit der

Topographie der Gletscher.

Was zunächst das Ende der Gletscher betrifft, so finden wir dasselbe weit unter die Schneegrenze herabreichen, und viel mehr selbst bei nahe gelegenen Gletschern hinsichtlich der Höhe über dem Meere wechseln, als dies bei der Schneelinie im ganzen Alpengebiete der Fall ist. Bei den größeren Gletschern schwankt es zwischen 7200 und 3065 Fuß. Von wesentlichem Einfluß auf die Höhe des Gletscherendes zeigen sich 1. die Größe des Gletschervolumens, 2. die Neigung des Bodens, auf dem er ruht, 3. die Lage seines Thales, ob auf der Nord- oder Südseite, 4. die klimatischen Verhältnisse. Da das erste und vierte Verhältniß Schwankungen unterworfen

ist, so schwankt auch das Ende des Gletschers, es findet sich bald tiefer unten, bald weiter oben. Wir werden weiter unten von den größten und bekanntesten Gletschern aus allen Theilen der Alpen mit andern topographischen Angaben auch eine Reihe Zahlen über die Lage der Gletscherenden mittheilen. Von dem Ende thalaufwärts zieht sich nun der eigentliche Gletscherstamm, auch Gletscherzunge genannt, hin. Man versteht darunter die verhältnißmäßig schmale, das enge Thal ausfüllende Eismasse bis zu ihrem Uebergange in die Firnmulde. Dieser Theil der Gletscher zeigt wohl die größten Verschiedenheiten nach allen Seiten hin, er ist es auch, welcher fast ausschließlich Gegenstand der Untersuchungen der Naturforscher geworden ist.

Die Länge desselben ist außerordentlich verschieden, wie schon daraus hervorgeht, daß das Ende der Gletscher der Höhe nach um mehr als 4000 F. schwankt. Sie ist ähnlich der Höhe des Endes abhängig von der Größe, Neigung und Richtung des Gletscherthales. Der längste aller Gletscher der Alpen ist der Aletschgletscher. Nach der Dufour'schen Karte hat seine etwas gekrümmte Achse (die Mittellinie zwischen seinen beiden Rändern) vom Ende bis zu der beginnenden Erweiterung, dem Uebergange des schmalen Gletscherthales in die Firnmulde am Faulberge 52000 F. (17000 m.) oder $2^1/_3$ g. Meilen. Das Mer de Glace des Mont Blanc von den Serracs du Géant an bis zum Ende ist nach der Karte des französischen Generalstabes 30100 F. (9800 m.) oder $1^1/_3$ g. Meilen. Eine ähnliche Länge hat der große Gornergletscher; von dem mit Blättje bezeichneten Felsen an bis ans Ende hat derselbe 28300 F. (9200 m.). Es ist nicht immer möglich, die Länge des Gletscherstammes genau anzugeben, da der Uebergang in den Firn auf den Karten nicht erkannt werden kann auch in der Natur die Linie zwischen dem aus Eis bestehenden Gletscherstamme und dem Firne

keine unveränderliche Lage hat, obwohl die Firnlinie, wie dieselbe genannt wurde, ihrer Meereshöhe nach weniger schwankt, als die Schneelinie.

Wir fügen hier, ehe wir die topographischen Verhältnisse weiter besprechen, eine Skizze des großen Aletschgletschers im

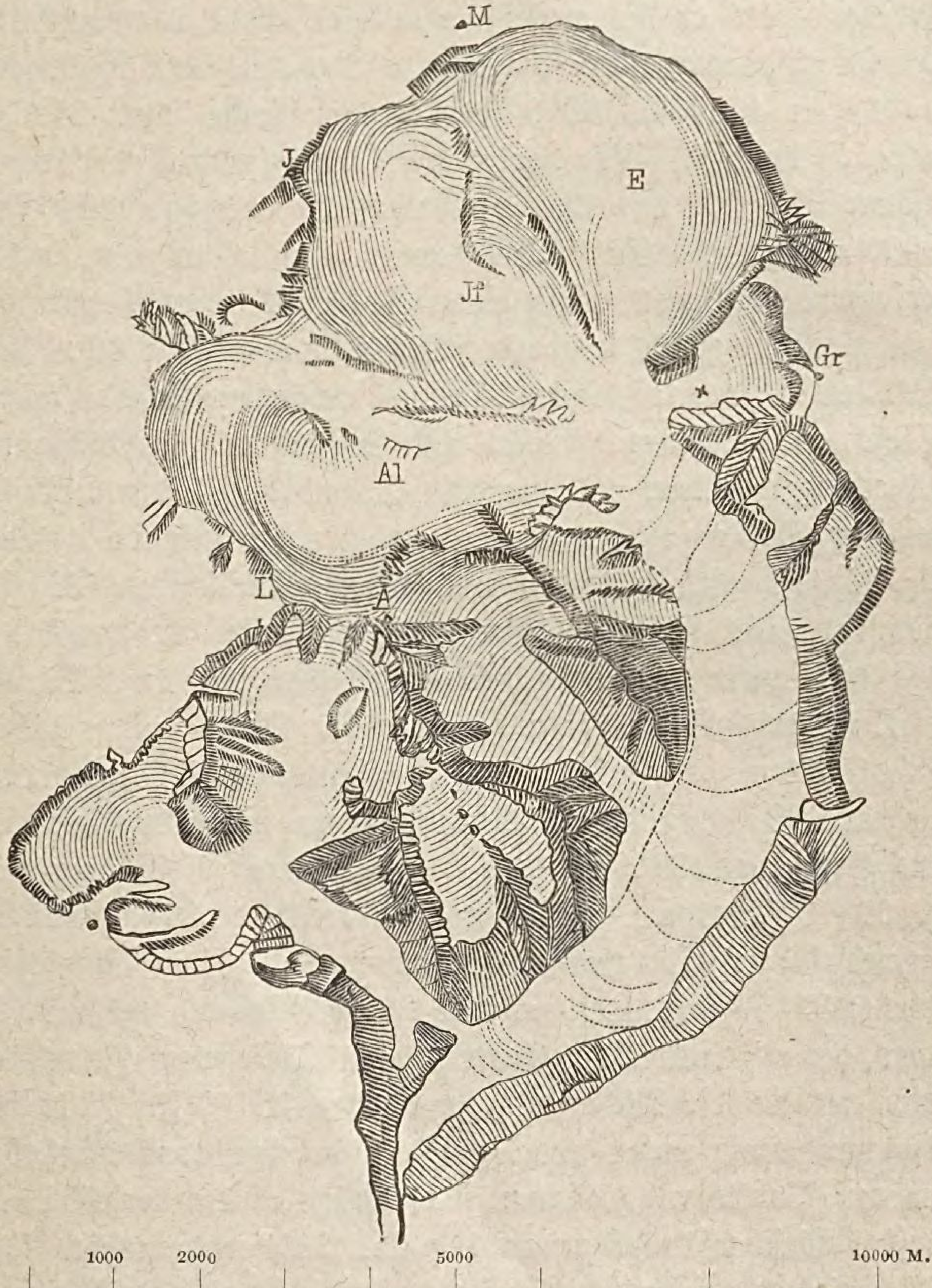


Fig. 33.

Maßstabe 1:150000 hier ein. Sie umfaßt, um diesen Ausdruck auch auf den Gletscher zu übertragen, das gesammte Quell- oder Stromgebiet desselben, d. h. alle die Abhänge, deren Schneemassen diesen gewaltigsten aller Eisströme der Alpen ernähren. Wie viele Gletscher, z. B. auch der Gornergletscher, spitzt er sich an seinem unteren Ende in der Massaschlucht außerordentlich stark zu, wird dann allmälig breiter, so daß er 4000 bis 5000 F. ober dem Ende schon 2400 F. (800 m.) breit ist. Wo der obere Aletschgletscher auf seinem rechten Ufer sich mit ihm verbindet, ist er schon 3000 Fuß (1000 m.) breit. Er bildet von da an einen regelmäßig verlaufenden Bogen, fast einen Halbkreis bildend und hat eine ziemlich gleich bleibende Breite von nahezu 6000 Fuß (1900 m.). Die große Firnmulde, in welche der Stamm führt, besteht aus mehreren Falten und Schluchten, die 3 Hauptabtheilungen bilden, eine nordöstliche, nördliche und westliche, auf der Dufour'schen Karte als Ewig-Schneefirn (E der Fig. 33), Jungfraufirn (Jf) und Großer Aletschfirn (Al) bezeichnet. Die Wände dieser großen Mulde sind von den höchsten Gipfeln der Berner Alpen gebildet, nur an 2 Stellen im Osten und Westen geht die Höhe der Wände unter 11000 Fuß (3600 m.) herunter, die als Lötschenlücke (L) und Grünberglücke (Gr) bezeichnet werden; erstere hat aber doch noch eine Höhe von 9860 F. (3204 m.), letztere selbst noch von 10160 F. (2305 m.). Die größte Breite dieser gewaltigen Schneefelder, vom Groß-Viescherhorn bis zum Ahnengrat beträgt 35400 F. (11500 m. oder 1½ g. Meilen), während in einer darauf senkrechten Richtung die Tiefe vom Jungfrausattel bis in die Nähe des Faulberges 22100 F. (7200 m.), also nur wenig unter einer g. Meile beträgt, von demselben unteren Punkte an bis zum nördlichsten einem der Grindelwalder Viescherhörner genau 1 g. M. (7400 m.) erreicht. Der Flächeninhalt dieser ungeheueren Mulde beträgt nach meinen

Messungen auf der Dufour'schen Karte 60,000000 Q. Meter oder 1,09 g. Q. Meilen.

Zwei andere Gletscher vereinigen sich mit ihm: nahe an seinem Ende öffnet sich die Schlucht, aus welcher der obere Aletschgletscher hervorkommt, der jedoch zu manchen Zeiten, wenn beide Gletscher stark abgeschmolzen sind, nicht mehr eine Eisverbindung mit ihm eingeht. Am Südabhange des die Jungfrau an Höhe überragenden Aletschhornes (A) bis zum Nesthorn sich erstreckend, liegt die Firnmulde dieses immerhin noch bedeutenden Gletschers; sie nimmt 10,900000 Q. M. ein. Weiter aufwärts kommt ein zweiter Eisstrom, der Mittel-Aletschgletscher, ebenfalls von der rechten Seite herein. Etwas kleiner als der vorhergehende (4,800000 Q M.), zeigt er sich doch nie von dem Hauptstamme getrennt. Seine Eismassen gehen stets in die des letzteren über. In mancher Beziehung ein ganz andres Bild liefert ein anderer der größten Alpengletscher, der vielleicht unter allen am meisten besucht wird, der Boisgletscher, wie zunächst sein unteres Ende heißt, oder die Mer de Glace, wie auch häufig der ganze Gletscher bezeichnet wird, im Chamounythale, den wir hier (Fig. 34) genau in demselben Maßstabe wie den Aletschgletscher zum Vergleiche mit diesem skizzirt sehen.

Während das untere Ende des Aletsch 1560 m. hoch in einer wilden Schlucht gelegen, kaum zugänglich erscheint, schiebt die Mer de Glace ihre Eisfluthen unmittelbar in das hier 1000 m. breite Thal der Arve bis nahe an die Häuser des Weilers les Bois, auf 1125 m. Höhe herab. Zwischen schroffe Felsenwände eingeengt kann der letztere in seinem ganzen unteren Theile nirgends eine größere Breite als 2400 F. (800 m.) erreichen. Trotz seines tieferen Herabsteigens ist die Länge des Gletscherstammes viel geringer, als die des Aletsch, bis zu den Eiskataraktеn (Serracs) des Géant 30100 F., während dieser 52000 F. Länge hat. Das gibt

uns eine weitere Ungleichheit beider zu erkennen, nämlich die große Verschiedenheit in dem Gefälle der beiden Eisströme. Bei dem großen Aletsch finden wir einen Fall von 9,3 auf 100 für den Gletscherstamm, nämlich 1230 m. auf 13100 m., während von den Serracs du Géant an die mittlere Neigung der Mer de Glace 15,9 auf 100, nämlich 1125 m. auf 9800 m. der Länge, beträgt.

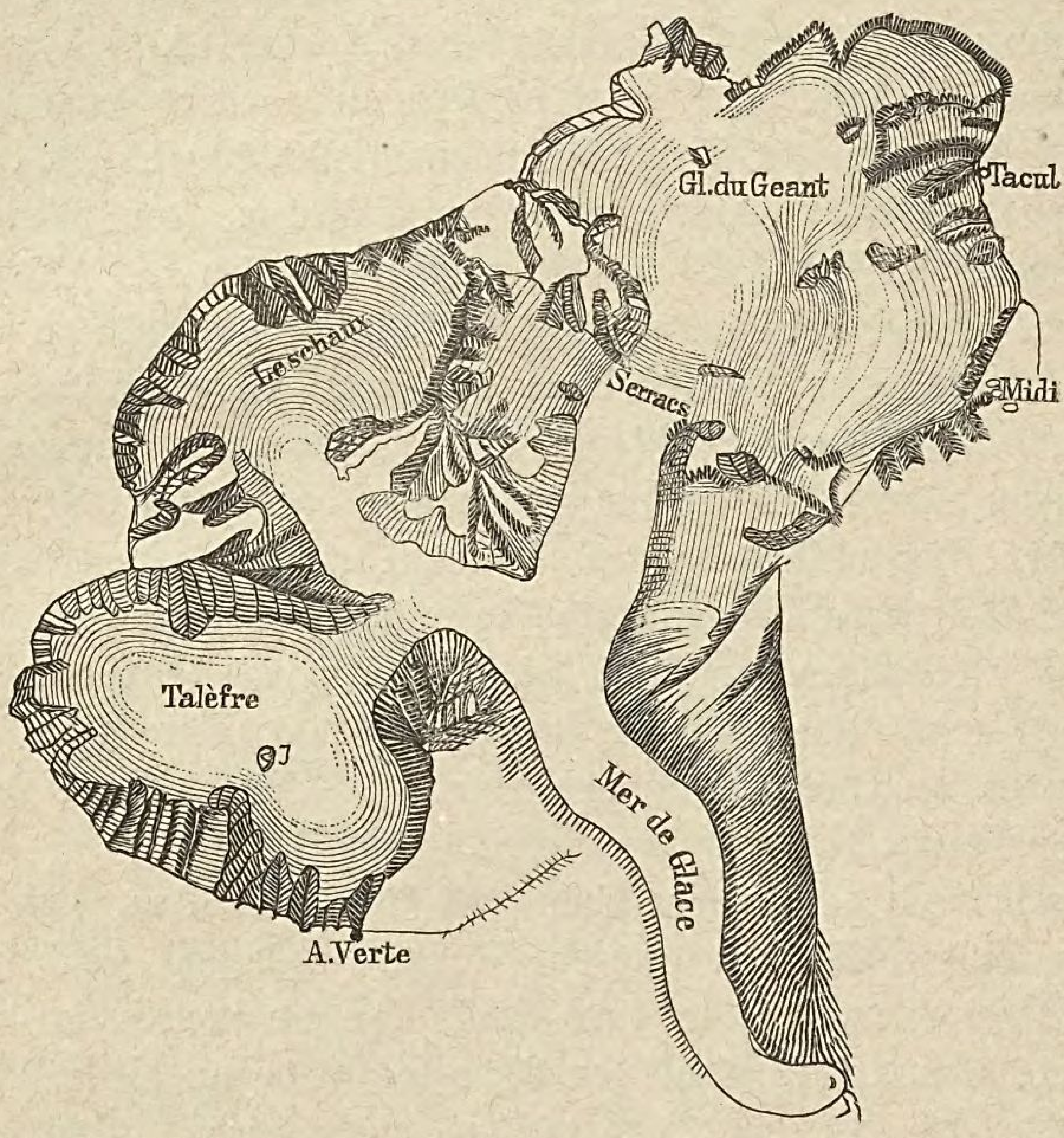


Fig. 34.

In ihrem unteren Theile ohne Zufluß, wird die Mer de Glace von 3 Stämmen zusammengesetzt, die sehr bald unterhalb ihrer Firnmulden sich vereinigen. Der Hauptgletscher, welcher auch die größte Längenausdehnung bis zu dem höchsten Theile seines Stromgebietes zeigt, führt zu dem

Col du Géant, auf dem sich die Wasserscheide zwischen Dora und Arve oder richtiger, die Schneescheide zwischen unserem Gletscher und dem kleinen Glacier du Mt. Fréty befindet. Ueber ihn geht die einzige mögliche Passage über den Stock des Mont Blanc zwischen den beiden Thälern der Arve und Dora, eine höchst beschwerliche und nicht ungefährliche langwierige Wanderung über Schnee und Eis. Die Firnmulde dieses nach dem Col und der Aiguille du Géant Glacier du Géant genannten Gletschers hat ihre größte Breite gerade zwischen diesem Col und der Aiguille du Midi (Midi); sie beträgt 5200 m. oder 16000 F., während sie in der Tiefe von dem oberen Ende der Serracs bis zum Mont Maudit 4400 m. oder 13500 F. mißt. Der niedrigste Punkt ihrer Wände ist der schon öfter genannte Col du Géant, 10340 F. (3362 m.) hoch, und nächst dem eine Einsattelung zwischen dem Mt. Blanc du Tacul (Tacul der Skizze) und der Aig. du Midi, 11080 F. (3600 m.) hoch. Der Flächeninhalt derselben oberhalb der Serracs beträgt nach einer Messung mit dem Polarplanimeter 16,000000 Q. Meter. Ebenfalls von dem südlichen Kamme herab steigt der als Glacier de Leschaux bezeichnete Eisstrom, der seinen Namen von der auf seiner Ostseite gelegenen Aiguille de Leschaux erhielt. Seine Firnmulde ist die kleinste, breit, aber wenig tief. Ihre Längsachse zwischen Mt. Mallet und Aiguille de l'Eboulement beträgt 13500 F. (4400 m.). Sie geht genau in der Richtung der Längsachse des Gebirgsstockes. Die Tiefe der Mulde ist dagegen sehr gering, nur 6160 F. (2000 m.). Ihr Flächeninhalt beträgt 5,688000 Q. M.

Noch vor der Vereinigung der beiden genannten Gletscher kommt durch eine Eiskaskade dem Leschaux von Nordosten her der dritte Hauptzweig der Mer de Glace, der Glacier de Talèfre zu. Bei einem gleichen Längsdurchmesser von 13500 F. der sehr regelmäßig gestalteten Firnmulde ist die

Tiefe derselben um die Hälfte größer als die der Mulde des Leschaux 9235 F. (3000 m.). Ihr Flächeninhalt erreicht 8,440000 Q. Meter.

Aus dieser großen Schneemulde ragt ein Fels hervor, auf dem sich bei der starken Wärme, die sich hier in einer Höhe von 8600 F. (2800 m.) unter den direkten und von den steilen Felswänden ringsherum reflektirten Sonnenstrahlen entwickelt, im Sommer eine reiche Vegetation entfaltet und dieser Felseninsel den Namen le Jardin (J der Fig.) und alljährlich viele Besucher verschafft. Wo die 3 Eisströme sich vereinigt haben, bilden sie eine mächtige 6200 F. (2000 m.) breite Eismasse, welche sich aber bald wieder auf die Hälfte verschmälert und von der Aiguille de Trélaporte an durch das enge Felsenbette, „den Granitrachen von Trélaporte" nennt es Tyndall bezeichnend, sich hindurchzwängt.

Mehr oder weniger sind die topographischen Verhältnisse aller Gletscher I. Ordnung den geschilderten ähnlich, alle zeigen sie die beiden so verschieden gestalteten Theile des Gletscherstammes und der Firn- und Schneemulde. Nur die Dimensionen dieser beiden Theile zeigen die größte Verschiedenheit, sowohl ihrer absoluten Größe nach, als in ihrem Verhältnisse zu einander. Vergleichen wir die verschiedenen Theile der Alpen hinsichtlich ihrer Vergletscherung mit einander, so finden wir die längsten und dem Flächeninhalte nach größten Gletscher in den Berner, Penninischen Alpen und am Montblancstock. Die Ostalpen zeigen entsprechend der geringeren Höhe auch kleinere Gletscher; der Länge nach geordnet folgen sie in unten stehender Reihe auf einander. Sie enthält alle 1 g. Meile und darüber langen Gletscher. B. A. bedeutet: Berner Alpen. P. A. Penninische Alpen. Be. Berninastock. M. Bl. Montblancstock. Oe. Oetzthaler Gruppe. T. Tauerngruppe. Für die beiden letzteren sind

die Angaben den öfter schon erwähnten Schriften v. Sonklar's entnommen, die übrigen beruhen auf eigenen Messungen.

	Länge in m.	F.	g. Meil.	Lage
1. Aletsch	20650	63560	2 5/6	B. A.
2. Gornergl.	16700	51300	2 2/3	P. A.
3. U. Aargl.	15200	46790	2 1/10	B. A.
4. Viescher	15000	46170	2 1/12	B. A.
5. Mer de Glace	12000	36920	1 3/5	M. Bl.
6. U. Grindelw.	11400	35025	1 6/10	B. A.
7. Rhone	11350	34850	1 1/2	B. A.
8a. Corbassière	11300	34700	1 1/2	P. A.
8b. Gepaatsch	11300	34700	1 1/2	Oe.
10. Argentière	10400	32015	1 5/12	M. Bl.
11. Pasterze	10270	31622	1 4/11	T.
12. Findelen	10200	31400	1 1/3	P. A.
13. Otemma	10100	31090	—	P. A.
14. Gurgler	9991	30757	—	P. A.
15. Miage	9840	30290	—	M. Bl.
16. Mortiratsch	9600	29552	1 2/7	Be.
17. Trift	9500	29245	—	B. A.
18. Hintereis	9180	28258	1 1/4	Oe.
19. Tschingel	9100	28011	—	B. A.
20a. Trélatète	9000	27705	1 1/5	M. Bl.
20b. Zmutt	9000	27705	—	P. A.
22. Breney	8900	27400	—	P. A.
23. Murzoll	8823	27160	—	Oe.
24. Zinal	8800	27090	—	P. A.
25. Forno	8700	26783	1 1/7	Be.
26. Ferpèche	8500	26166	—	P. A.
27. Bosson	8480	26105	—	M. Bl.
28. Arolla	8200	25242	1 1/11	P. A.
29. Gauli	8100	24935	—	B. A.

	Länge in m.	F.	g. Meil.	Lage
30. Saleinoz	8000	24627	1 1/20	M. Bl.
31. Mittelberg	7800	24012	—	Oe.
32. Gries	7700	23704	—	Lepont. Alp.
33. Vernagt	7563	23200	—	Oe.
34. Lötsch	7500	23088	1 1/100	B. A.

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, wie zwar im Allgemeinen mit der Höhe der Alpen die Länge der Gletscher abnimmt, aber doch ein konstantes Verhältniß zwischen der Höhe, von der die Gletscher herabsteigen, und der Länge der Gletscher nicht statthat. Die vom höchsten Gipfel des Mt. Blanc herabsteigenden Eisströme des Miage- und Bossongletschers nehmen der Länge nach erst die 15. und 27. Stelle ein. Der Aletschgletscher, welcher von der Jungfrau und den benachbarten Bergen aus einer Höhe von 4000 m. herabkommt, ist mehr als doppelt solang als der ungleich höher entspringende Miage- und Bossongletscher, von denen der letztere selbst um 1300 Fuß tiefer in das Thal herabsinkt, als jener. Die größte Anzahl über eine Meile langer Gletscher liefern die Penninischen und die Berner Alpen, erstere 10, also nahezu 1/3 aller, letztere 9. Ihnen reiht sich die Mt. Blancgruppe an, welche 6, und die Oetzthaler, welche 4 Gletscher von mehr als einer Meile Länge haben, während die Gruppe der Tauern nur einen von solcher Länge aufweist.

Für die Oetzthaler- und Tauerngruppe verdanken wir v. Sonklar eine genaue Darstellung und ein detaillirtes Ausmaß der Gletscher dieser beiden wichtigen Gebirgsmassen, aus der wir auch später noch einige Angaben benützen werden. Danach finden sich in der ersteren 14 Gletscher I. Ordnung, in der letzteren 13. Die Länge derselben in der erstgenannten Gruppe schwankt zwischen 13000 und 35700 F., die der letz-

teren zwischen 11200 und 31600 F. Als geringste Länge eines Gletschers I. Ordnung ergibt sich demnach 1/2 g. Meile.

Als mittlere Länge für die 14 Gletscher der Oetzthaler Gruppe hat v. Sonklar 6670 m. (20532 F.), also ziemlich genau 9/10 g. M. gefunden, für die Tauerngruppe 5729 m. (17635 F.) oder 3/4 g. Meilen.

Von größerer Bedeutung für eine Vergleichung der verschiedenen Gletscher ist das Verhältniß des Flächeninhaltes des eigentlichen Gletscherstammes zu dem der Firn- und Schneemulden. Wir reihen auch hier die Gletscher der Größe des ersteren nach an einander. Es wurde schon oben erwähnt, daß es nicht immer möglich ist, die Linie genau zu bestimmen, wo der Gletscherstamm beginnt, doch ist bei der Größe der beiden hier in Betracht kommenden Theile und dem Umstande, daß der Gletscherstamm auch an seinem oberen Ende meist ziemlich schmal ist, ein Fehler in der Bestimmung der Lage dieser Linie auf der Karte von geringerem Einfluß. Jedenfalls wird aber eines dadurch nicht geändert, nämlich die Summe des Flächeninhaltes beider Theile.

Die Bestimmungen des Flächeninhaltes der Gletscher des Mt. Blanc, der Berner und Penninischen Alpen habe ich selbst vorgenommen, für die der Oetzthaler und Tauerngruppe sind sie den Werken v. Sonklar's entnommen. Wir lassen sie hier ebenfalls ihrem Flächeninhalte nach auf einander folgen.

Es enthält die erste Kolumne (Firn) nach dem Namen den Flächeninhalt der Firnmulde in Millionen Q. Meter, die zweite (Stamm) den des Gletscherstammes, die dritte den Flächeninhalt des ganzen Gletschers (G. Gletscher) in Millionen Q. Meter, Millionen Q. Fuß und in Q. Meilen, die vierte das Verhältniß des Stammes zur Firnmulde (S:F).

	Firn	Stamm	G. Gletscher in Mill. □. Meter	Fuß	Meile	S : F
1. Aletsch . . .	123,5	27,2	150,7	1428,1	2,7	1 : 4,5
2. Gorner . . .	57,25	7,7	64,95	615,52	1,2	1 : 7,4
3. Mer de Glace	30,232	11,648	41,88	396,9	0,8	1 : 2,6
4. U. Aar . . .	23,3	11,25	34,55	327,42	0,6	1 : 3,0
5. Viescher . . .	28,5	5,00	33,5	317,47	0,6	1 : 5,7
6. Pasterze . . .	21,66	6,44	28,1	267,8	0,5	1 : 3,44
7. Gepaatsch . .	17,80	4,80	22,6	214,0	0,4	1 : 3,7
8. Hintereis . .	17,22	4,18	22,4	213,5	0,4	1 : 4,3
9. Mittelberg .	16,16	3,62	19,78	187,0	0,3	1 : 4,4
10. Gurgler . .	14,25	5,09	19,36	182,6	0,3	1 : 2,9
11. Tschingel . .	14,50	2,35	16,85	159,68	0,3	1 : 6,17
12. Murzoll . .	13,06	3,19	16,27	154,05	0,3	1 : 4,1
13. Miage . . .	7,136	4,56	11,696	110,84		1 : 1,5

Vergleicht man diese Tabelle mit der vorhergehenden, auf welcher die Gletscher ihrer Länge nach geordnet sind, so sieht man sofort, daß der Flächeninhalt und die Länge eines Gletschers in keinem einfachen Verhältnisse zu einander stehen. Dem Flächeninhalte nach nimmt die Mer de Glace die dritte Stelle ein, der Länge nach die fünfte, die Pasterze hat einen größeren Flächeninhalt als der Gepaatschgletscher, während sie an Länge von demselben übertroffen wird. Nur 2 Gletscher haben einen Flächeninhalt von mehr als einer g. □. Meile, der Aletsch, der auch in dieser Beziehung schon den ihm am nächsten stehenden Gornergletscher um mehr als das Doppelte übertrifft, und dieser letztere. Bei allen andern, mit Ausnahme der Mer de Glace, bleibt der Flächeninhalt weit unter einer □. Meile.

Ein Weiteres, was uns die Tabelle lehrt, ist, daß auch kein konstantes Verhältniß zwischen dem Flächeninhalte der

Firnmulde und des Gletscherstammes besteht. Ein Blick auf eine genaue topographische Karte kann uns schon davon überzeugen. Die ungeheueren Firnmulden des Monte Rosa z. B. liefern den verhältnißmäßig kleinen Gornergletscher, ebenso ist der Stamm des Tschingelgletschers sehr klein gegen die großen Firnmulden. Dagegen ist wieder bei manchen der Stamm auffallend groß gegenüber den Firnmulden, das Verhältniß zwischen beiden bei dem Miage auf der Südseite des Mont Blanc wie 1:1,5, also wie 2:3, während es bei dem Gorner wie 1:7,4 oder fast wie 2:15 sich herausstellt. Nach den Untersuchungen v. Sonklar's stellt es sich bei den Gletschern der Oetzthaler Gruppe im Mittel aus 10 Fällen wie 1:3,7 heraus; bei den Gletschern der Tauerngruppe ergab sich dasselbe aus 5 von 13 Gletschern wie 1:3,8, also nahezu gleich. Die theoretischen Folgerungen, zu denen sich v. Sonklar dadurch veranlaßt sah, werden wir später noch besprechen, wenn wir die Vorgänge, welche man an den Gletschern wahrnehmen kann, näher betrachtet haben.

Es bleibt uns von den topographischen Verhältnissen der Gletscher noch ein wichtiges Element zu besprechen, nämlich die Höhe, von der dieselben herabsteigen und die Tiefe, bis zu welcher sie sich niedersenken. Beides zusammen mit der Länge derselben läßt uns die Neigungsverhältnisse derselben näher bestimmen.

Wenn wir die Höhe, von welcher ein Gletscher herabsteigt, näher bestimmen wollen, so finden wir, daß die Gletscher auch in dieser Beziehung einige Aehnlichkeit mit den Flüssen haben, indem nämlich, wie für einen Fluß eine ganze Reihe von Quellen und Nebenflüssen ins Auge gefaßt werden muß, wenn es sich um sein Gefälle handelt, wir auch bei den Gletschern finden, daß dieselben ihren Ursprung aus sehr verschiedenen Höhen, auf Sätteln und Gipfeln haben. Da aber bei den Gletschern das umgekehrte Verhältniß wie

bei den Flüssen sich findet, nämlich das, daß diese gegen ihren Anfang immer schmäler, jene dagegen immer breiter werden, so kommt man einigermaßen in Verlegenheit, die Höhe genau zu bezeichnen, von welcher ein Gletscher herabkommt. Am sichersten wird man aber dabei verfahren, wenn man ohne Unterschied auf die Breite des betreffenden Theiles der Firnmulde den höchsten Punkt, bis zu welchem sich eine mit dem Gletscher unmittelbar zusammenhängende Schneemasse erstreckt, als Höhe des Gletscheranfanges bezeichnet. Denn nicht immer führen die Gletscher ihre Namen von den höchsten Gipfeln, denen ihre Schneemassen entstammen; so der Glacier de Géant, dessen Firnmulde auf den Mt. Blanc du Tacul bedeutend höher hinaufgeht, als zur Aigll. du Géant, ebenso der Glacier de Talèfre, der die Schneemassen der ebenfalls höher als die Aiguille de Talèfre aufragenden Aigll. de Triolet und andrer in sich aufnimmt. Das untere Ende der Gletscher schwankt ebenfalls nicht unbedeutend in der Höhe, doch ist es in dem Wesen der Gletscher begründet, daß die Differenz in einem Gebirge, wie die Alpen, das nur wenig Breitegrade umfaßt, nicht sehr groß sein kann; immerhin schwankt aber die untere Gletschergrenze noch mehr, als die Schneegrenze auf und ab.

Kennen wir noch die Länge eines Gletschers, so gibt uns eine einfache Rechnung oder Konstruktion die sogenannte mittlere Neigung des Gletschers, d. h. den Winkel, welche die Gletscheroberfläche mit einer horizontalen Linie bilden würde, wenn sie eine ebene Fläche vom Gletscherende bis zu seinem Anfange darstellte.

Wir wollen auch diese Größen hier für die größten Gletscher, soweit sie bekannt sind, zusammenstellen und sie in diesem Falle nach der Höhe ihres Anfanges ordnen. Die Rubrik Fallhöhe gibt den Unterschied zwischen Anfang und

Ende, die Maße sind hier Par. Fuße, die Gletscher sind der Höhe ihres Ursprunges nach geordnet.

Namen	Anfang	Ende	Fallhöhe	Länge	mittl. Neigg.
Bosson........	14809	3385	11424	26105	1 auf 2,2
Miage	14809	5140	9639	30290	1 „ 3,0
Gorner	14284	5672	8612	51300	1 „ 5,9
Zinal	13434	5600	7834	27090	1 „ 3,4
Taconnaz	13330	4396	9034	17540	1 „ 1,9
Mer de Glace ...	13078	3448	9630	36920	1 „ 3,8
Aletsch........	12950	4783	8167	63560	1 „ 7,8
Zmutt........	12866	6497	6369	27705	1 „ 4,5
U. Aar	12930	5810	7120	46790	1 „ 6,5
Viescher	12374	4390	7984	46170	1 „ 5,8
U. Grindelwald ..	12153	3025	9128	35025	1 „ 3,8
Argentière	12005	4340	7665	32015	1 „ 4,2
Tschingel	11016	5662	5354	28012	1 „ 5,2
Hintereis	10590	6760	4830	28258	1 „ 5,8
Gepaatsch	10870	5830	5040	34700	1 „ 6,9
Gurgler	10670	6564	4106	30757	1 „ 7,4
Pasterze	10340	6000	4340	31622	1 „ 7,3

Der Unterschied ist demnach ein sehr bedeutender. Der steilste aller Gletscher erster Ordnung ist der auf der Nordseite des Mt. Blanc's herabsteigende Taconnaz, die mittlere Neigung 1 auf 1,9 entspricht einem Winkel von 31°, während die geringste der längste Gletscher, der Aletsch, zeigt, welcher das Verhältniß von 1 auf 7,8 oder 6° Neigung hat.

Diese mittleren Neigungsverhältnisse geben uns übrigens ebensowenig ein richtiges Bild von der wahren Neigung, wie dieses bei den Flüssen der Fall ist. In noch höherem Grade, als bei den letzteren zeigt sich ein sehr großer Unterschied

an den verschiedenen Theilen des Gletschers. Die obersten Enden der Firnmulden zeigen oft die steilen Neigungen, wie wir sie an den höchsten Gipfeln beobachten, sie sind ja häufig weiter nichts als mit Schnee gefüllte Furchen und Schluchten in denselben, dagegen weiter unten, an dem eigentlichen Gletscherstamme sind nur sehr selten stärkere Neigungen bemerkbar.

Wir haben nur von einem Gletscher ein genaues Nivellement, von dem Unter-Aargletscher, das Agassiz ausführen ließ, und zwar nur von der Stelle an, wo sich der Finsteraar- und Lauteraargletscher vereinigen. Danach zeigte sich an dieser Stelle selbst die Neigung äußerst gering, für das Auge kaum bemerklich, nur etwas mehr als 1/4 Grad betragend (18′ 21″), von da an weiter abwärts nahm sie etwas zu, stieg zunächst auf 2 1/4 Grad, dann auf 3 und 4. Am Ende selbst, wo sich die Abschmelzung sehr energisch geltend macht und den Gletscher zuspitzt, wuchs sie bis zu 8 und 10 Grad.

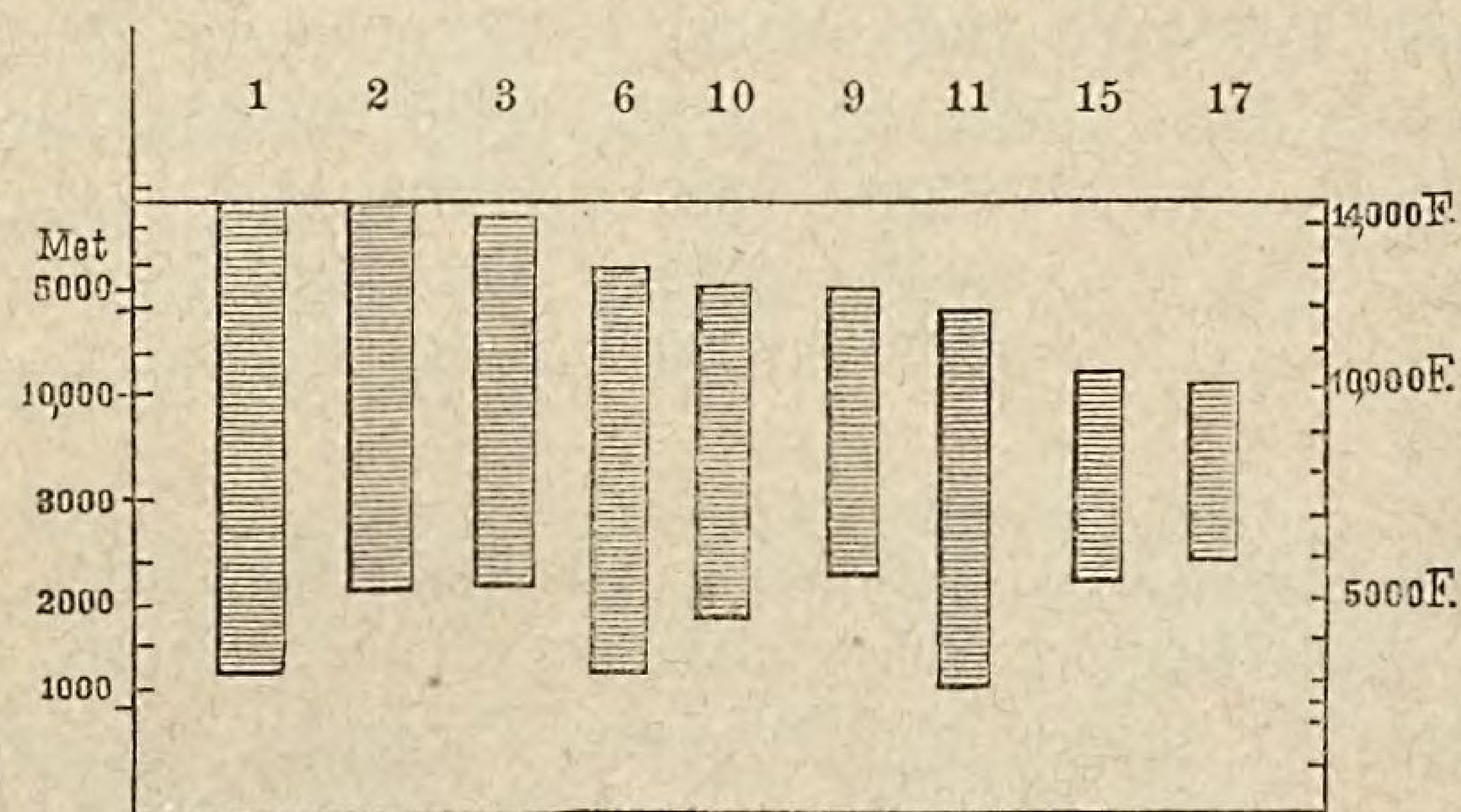


Fig. 35.

Die Ungleichheit in der Fallhöhe zeigt sich am deutlichsten, wenn wir in etwas größerem Maßstabe durch eine senkrechte Linie die Fallhöhe anzeigen. Das obere Ende jeder Linie in der obenstehenden Figur gibt uns den höchsten Punkt des Gletscheranfanges, numerirt nach der Reihenfolge S. 179,

das untere das des Gletscherendes. Die wirkliche Länge des Gletschers steht natürlich in gar keinem Verhältnisse zu diesen Linien, die nur die Differenz der Höhe zwischen Anfang und Ende veranschaulichen.

Das Ende des Gletschers stellt meistens eine sehr steile ebene oder abgerundete Fläche dar, die häufig gar nicht zu erklimmen ist. An ihrem Fuße liegt die Eishöhle, aus welcher der Gletscherbach hervorkommt, der alles das aus der Schmelzung des Gletschers entstandene Wasser zu Tage bringt, welches durch die Spalten und Klüfte desselben den Boden erreichen kann. Wie die Lage, so ist auch die Form dieses Endes und der Eisgrotte in demselben beständigen Veränderungen unterworfen. Die letztere stellt eine geräumige hochgewölbte Höhlung dar, manchmal auch nur einen niedrigen, weit unter den Gletscher sich hinziehenden Gang. Im Sommer bei warmem Wetter ist es nicht rathsam sich in dieselben zu begeben, da nicht selten gewaltige Stücke der Decke sich loslösen, die Jeden zerschmettern würden, auf den sie fallen.

Das Material des Gletschers.

Wir haben 3 verschiedene Massen als diejenigen bezeichnet, welche den Gletscher zusammensetzen, Eis, Firn und Schnee. Ersterer erscheint am Ende, letzterer am Anfange der Gletscher, zwischen beiden kommt eine Strecke, in der eine eigenthümliche, zwischen Eis und Schnee in der Mitte stehende Substanz weithin die Oberfläche der Abhänge und des Gletschers bedeckt.

Der Schnee der Hochgebirge ist von dem der Ebenen nicht wesentlich verschieden, nur zeigt er sich häufiger in feineren, nadel- und sternförmigen Krystallen, fällt auch nicht in so großen Flocken, wie in den tieferen Gegenden. Namentlich im Winter bleibt er lange in diesem lockeren, staubartigen Zustande, da sich nicht wie im Sommer durch oberflächliches

Abschmelzen etwas Wasser bildet, was die tiefer liegenden Kryställchen vergrößert und beim Gefrieren verbindet. Er bleibt trocken und wirbelt beim Winde auf wie Staub, sodaß sich auch auf den höchsten Gipfeln der Schnee nicht übermäßig anhäufen kann. Im Sommer scheint selbst auf den höchsten Höhen hie und da die oberflächlichste Schichte des Schnees etwas zu schmelzen; Saussure hat wenigstens auf dem Gipfel des Mt. Blanc noch eine solche dünne Rinde, auf dem Schnee einen Eisfirniß, wie er es passend bezeichnet, beobachtet. Bei seiner geringen Dicke schützt er den darunter liegenden Schnee nicht gegen die heftigen Winde, welche ihn mit diesem weithin tragen und von ferne dem Berge das Ansehen geben, als wenn er rauche, weswegen auch die Bewohner des Chamounythales vom Mt. Blanc, wenn er sich in diesem Zustande befindet, sagen: il fume sa pipe.

Wie dick die Schneelagen auf den höchsten Gipfeln seien, wird sich kaum je bestimmen lassen. Saussure maß mit einem Fernrohre eine Reihe solcher Schneeschichten am Gipfel des Mt. Blanc, die einen natürlichen Durchschnitt der Schneekappe darstellten, und sich in einer Lage befanden, daß Saussure dafür hielt, sie seien wirklich nur durch einfachen Schneefall gebildet. Sie zeigten eine Dicke von 186 F. Er glaubt, daß auf dem Gipfel im Maximum eine Lage von 200 F. Dicke entstehen könne. Doch ist auch das mehr eine Vermuthung, als ein sicherer Schluß.

Je weiter abwärts man geht, desto stärker wirken die Sonnenstrahlen, desto mehr schmilzt von der Oberfläche des Schnees, desto stärker wird die Eislage, welche sich auf oder auch unter der Oberfläche des Schnees bildet. Ist die Schneemasse sehr locker aufgeschüttet, so sickert das Schmelzwasser leicht durch sie hindurch und es können so auf den höchsten Gipfeln Massen festen kompakten Eises sich bilden, das unmittelbar auf dem Felsen aufruht. Zumstein fand solches

festes Eis am Monte Rosa in 4264 m. (13120 F.) Höhe, und Agassiz sah die ganze Schneeschichte am Rothhaljoch in einer Höhe von 4000 m. in Eis verwandelt. Bei Besteigungen solcher eisgepanzerter Gipfel haben die trügerisch mit neuem Schnee überdeckten Eisfelder schon manchen schweren Unglücksfall erzeugt, wenn die Schneemasse ins Abrutschen kam. So verunglückte unmittelbar unter dem Gipfel des Mont Blanc die Expedition, welche der russische Naturforscher Hamel 1820 unternommen. Die ganze große Gesellschaft rutschte den Abhang am Dome du Gouter hinab, 3 davon kamen nicht mehr zum Vorschein, während die übrigen sich aus dem Schnee herausarbeiten konnten.

Die Dichtigkeit des frisch gefallenen Hochschnees ist eine sehr geringe; eine Schichte von 1 m. Dicke liefert nach Dollfuß nur 0,085 m. Wasser, also geben 12 F. Schnee 1 F. Wasser. Wenn derselbe aber längere Zeit gelegen und sich gesetzt hat, so gibt 1 m. 0,333 m., also 1/3 Wasser.

Für höhere Gegenden, als der St. Bernhard liegen keine Beobachtungen über die Menge der Niederschläge vor. Die Angaben über die Schneemassen der Hochregionen sind daher mehr oder weniger Vermuthungen, doch dürfte eine Anhäufung von 15—17 m. lockerer Schnee vom Herbst bis Sommer nicht viel von der Wahrheit abweichen. Tiefer nach unten, besonders in den großen Mulden, aus denen die Gletscher erster Ordnung hervorgehen, verwandelt sich der Schnee nach und nach zu Firn.

Der Firn besteht aus kleinen Körnchen von Eis, die locker auf einander liegen und in Massen ganz das weiße Ansehen des Schnees haben. Auch in den Ebenen außerhalb des Gebirges bildet sich, namentlich im Frühjahre, Firn. Er entsteht aus dem Schnee dadurch, daß das Schmelzwasser der obersten Schichten die tiefer liegenden Schneekryställchen und Nädelchen mit einer Schichte Wassers umzieht, welches bei

Nacht wieder gefriert. Wiederholt sich dieser Proceß oft, so bilden sich so allmälig größere Eiskörnchen, die in der Wärme feucht und locker, in der Kälte dagegen trocken und zusammengebacken sich zeigen, aber leicht von einander getrennt werden können. An der Oberfläche zeigen sie noch eine große Menge von Zwischenräumen; je tiefer man aber von der Oberfläche eindringt oder auch den Gletscher abwärts geht, desto mehr ändert sich die Beschaffenheit des Firnes. Es ist vorzugsweise der Druck der höheren Lagen, welcher die tieferen Firnmassen zusammenpreßt; die Zwischenräume werden kleiner, die Körner größer und eckig, und so bildet sich nach und nach ein blasiges, wenig kompaktes, weiß erscheinendes Eis aus, das Firneis. Allmälig geht unter dem Drucke von oben und dem Eindringen und Gefrieren des Schmelzwassers aller Firn in Eis über, und so finden wir unterhalb einer gewissen Linie, der sog. Firnlinie nur noch Eis. Schon bei einem Drucke, der nur $^4/_5$ Atmosphären entspricht, wird durch diesen allein der Firn in wenig Tagen in Eis verwandelt, wie dies aus meinen Versuchen im Aletschfirne hervorgeht. Danach würde in einer Tiefe von 65 bis 100 F. unter der Oberfläche des Firnes nur Eis vorhanden sein. Dieses Eis hat in seinem größten Theile eine eigenthümliche Beschaffenheit, wie sie an dem Eise der Flüsse und Seen sich nicht zeigt. Es läßt nämlich viele Bläschen, feine Haarspalten und eine großkörnige Struktur erkennen.

Die Bläschen des Gletschereises enthalten Luft und erscheinen je nach dem Drucke, dem das Eis ausgesetzt war, als größere oder kleinere linsenförmige oder spindelförmige Hohlräume (b Fig. 36), oder feine schmale Streifen, wenn man sie von der Seite betrachtet (a). Meistens liegen sie in kleineren Stücken von Eis einander parallel. Die Menge derselben schwankt zwischen 0 und 4,2 % des Volumens des Eises, das spez. Gewicht desselben zwischen 0,628 und 0,909,

welches letztere Gewicht auch das kompakte Eis der Seen hat. Die folgende Figur, welche Agassiz nach einem Stück kompakten Gletschereises einer Tiefe von 8 m. unter der Oberfläche herrührend, gezeichnet, veranschaulicht die Eigenthümlichkeiten des Gletschereises am besten.

Gießt man auf ein solches Eisstück eine gefärbte Flüssigkeit, so sieht man dieselbe bald verschwinden und in einem Netzwerke der feinsten Kapillarspalten sich ausbreiten. Diese feinen Spalten finden sich in dem Gletschereise, so tief hinab unter

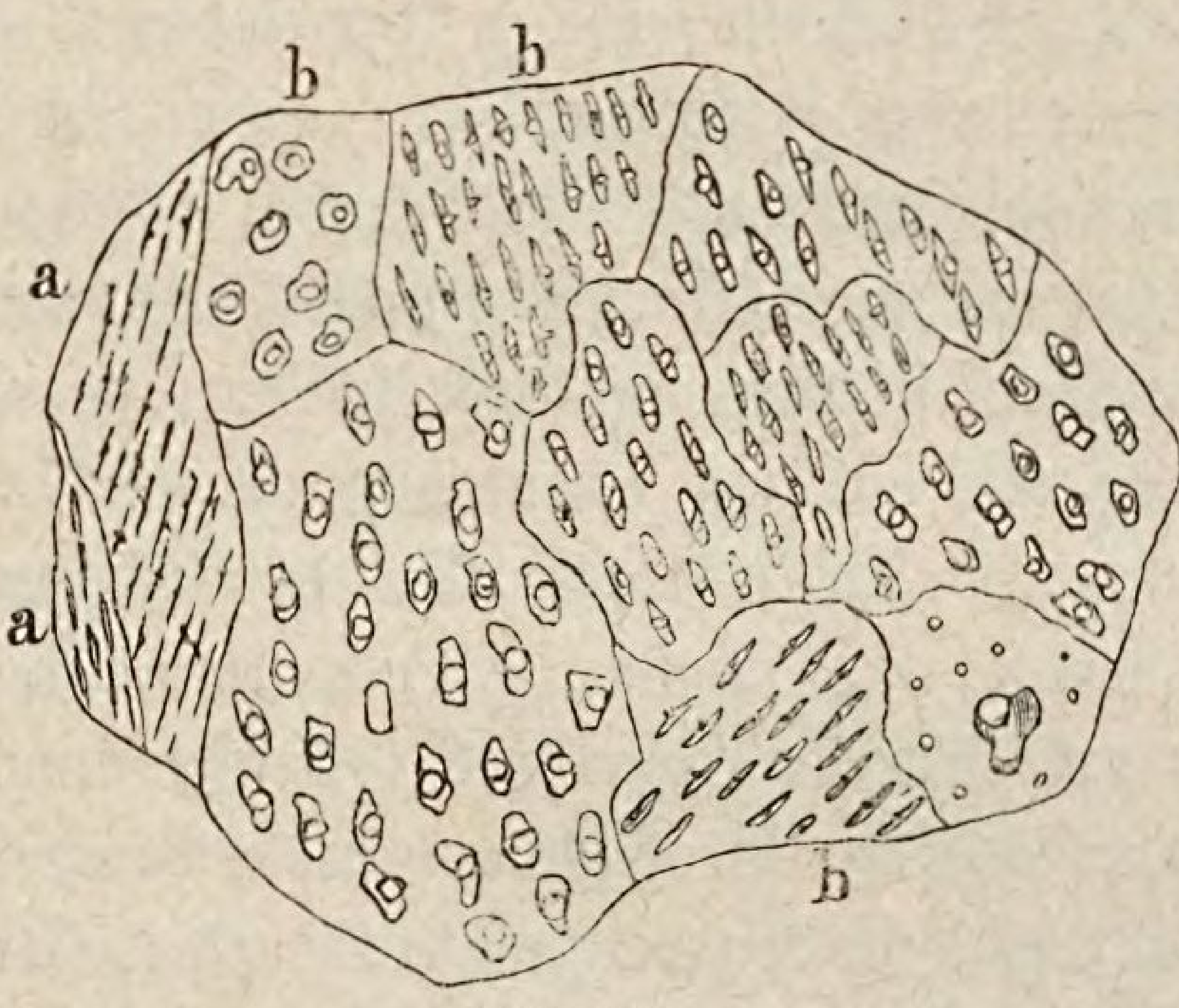


Fig. 36.

die Oberfläche man auch noch gedrungen ist. Agassiz ließ auf dem Aargletscher Löcher bohren bis zu 86 m. Tiefe; die Fragmente aus dieser Tiefe zeigten ebenfalls die Kapillarspalten. Eine dritte Eigenthümlichkeit des Gletschereises ist die, daß es aus einzelnen unregelmäßig geformten Stücken zusammengesetzt erscheint, welche eben zwischen sich die geschilderten Kapillarräume frei lassen. Die Stücke zeigen ein- und ausspringende Winkel, und wenn ein Eisstück der warmen Luft ausgesetzt wird und sich die einzelnen Fragmente von einander lösen, zeigen sie oft eine fein wellige Streifung der Oberfläche. Was noch besonders charakteristisch ist, die einzelnen Fragmente zeigen ihre Luftbläschen ganz verschieden

gelagert. Sind diese Kapillarräume mit Wasser angefüllt, so erscheint das Eis ganz durchsichtig und blau, während, wenn sie theilweise trocken sind und Luft führen, das Eis weiß und mehr oder weniger undurchsichtig sich zeigt.

Die Gletscherspalten.

Schon aus größerer Entfernung sieht man an jedem Gletscher zahlreiche Spalten, welche sich über denselben hinziehen, die ihm, wo sie in großer Menge auftreten, das Ansehen geben, als wenn eine heftig wogende Wassermasse plötzlich erstarrt wäre. Kommt man aber demselben näher, so erscheinen diese Spalten als gähnende Schlünde, zwischen denen nur schmale, spitze Eisrücken noch stehen geblieben sind. Manche Gletscher sind wenigstens stellenweise so furchtbar zerrissen und zerklüftet, daß es unmöglich ist, sich hier einen Weg zu bahnen. An anderen Stellen dagegen sind diese Spalten so selten und so wenig breit und lang, daß man ohne Mühe und Gefahr auf dem Gletscher wandern kann. Auch eine oberflächliche Beobachtung und Vergleichung lehrt, daß die Spaltung mit der Neigung des Gletschers in einem gewissen Zusammenhange steht. Je steiler jene, desto stärker ist die Zerklüftung. Wo der Gletscher nahezu eben ist, zeigt sich auch die Spaltung äußerst geringe.

Nach der Richtung, welche die Spalten haben, der Stelle, welche sie einnehmen, hat man verschiedene Arten von Spalten unterschieden, nämlich Querspalten, Längsspalten und radiale Spalten, dann mediane und Randspalten.

Wir betrachten zunächst die Querspalten. Dieselben finden sich meist am deutlichsten in den mittleren Theilen des Gletschers als mediane Spalten. Sie erstrecken sich gewöhnlich nur über einen Theil des Gletschers; namentlich da, wo ein Gletscher aus mehreren Armen gebildet wird, gehen sie nicht über die Masse eines Armes hinüber. Ihre Länge

richtet sich daher einigermaßen nach der Breite des Gletschers. Sehr verschieden ist ihre Breite und Tiefe. Von einem kaum sichtbaren, wenige Meter langen Risse an finden sich alle Größen bis zu Schlünden, welche in unmeßbare Tiefen sich erstrecken und eine Breite von 20 und mehr Fuß haben. Ihre Tiefe ist ebensowenig sicher zu bestimmen, wie die der Dicke des Gletschers, weil sie nach unten hin immer enger werden und nicht geradlinig verlaufen. v. Sonklar bestimmte auf dem Murzollgletscher die Tiefe einer solchen durch große hinabgeworfene Steine. Dieselben schlugen einige Male auf, nach 12—13 Sekunden wurde der letzte Fall gehört. Er rechnet nun 5 Sekunden für die Verzögerung durch das mehrmalige Aufstoßen der Steine auf Vorsprünge der Eiswände ab; dann ergibt sich aber dennoch die Tiefe zu 232 m. oder 714 F., was, wie er bemerkt, eher unter als über der Wahrheit stehen dürfte. Ihre Zahl ist gering auf den ebenen Stellen des Gletschers, größer an den geneigten, so daß an steileren Stellen desselben die Spalten einen viel größeren Raum einnehmen als die Eismassen. Bilden sich in diesen Eisrücken dann auch noch Längsspalten, so entstehen förmliche Eiskegel oder Eisnadeln, zwischen denen es meist unmöglich ist, einen Weg zu finden. Es sind wahre Cascaden, am Mt. Blanc als Serracs bezeichnet, auch Gletscherbrüche genannt. Der Rhonegletscher von der Furka aus läßt dieselben in ihrer wunderbaren Pracht sehr deutlich erkennen.

Viel seltener als die Querspalten zeigen sich auf Gletschern Längsspalten. Sie finden sich nur da, wo das Gletscherbett sich etwas erweitert, und fehlen manchen Gletschern ganz, zeigen sich meist oben schmal aber von beträchtlicher Länge. Sehr mächtig entwickelt sind dagegen auf allen Gletschern die Randspalten. Sie finden sich besonders stark an Stellen, wo Felsenecken gegen den Gletscher vorspringen und ihn etwas einengen. Sie gehen nicht einfach in gerader Linie senkrecht zu

der Längsrichtung des Gletschers gegen die Mitte desselben zu, sondern sind stets vom Ufer aus gegen die Firnregion, also aufwärts gerichtet unter 30—40°. Obwohl sie außerordentlich breit werden können — Agassiz beobachtete auf dem Aargletscher solche von 10 m. Breite — so erstrecken sie sich doch nicht sehr weit gegen die Mitte des Gletschers. Wo sie sich mit schon früher vorhandenen Querspalten kreuzen, entsteht ein wahres Chaos von Eisbergen und Pfeilern, welches den Gletscher an einer solchen Stelle ebenfalls unbetretbar macht.

Nicht selten beobachtet man auf großen Gletschern eine eigenthümliche Modifikation der Spalten, die sog. Gletschermühlen. Ist nämlich die Abschmelzung der Oberfläche durch die Wärme der Luft und die Einwirkung der Sonnenstrahlen sehr lebhaft, so sammeln sich in Rinnen die einzelnen kleinen Wasseradern zu mächtigen Bächen, die über den Gletscher hinabeilen. Finden sie auf ihrem Wege eine breitere Spalte, so stürzen sie sich mit weithin schallendem Getöse in dieselbe und arbeiten ein rundliches, je nach der Wasserfülle weiteres oder engeres Loch bis zu großer Tiefe aus. Agassiz konnte ein Senkblei in ein solches 260 m. oder 800. F. hinablassen. Sie erhalten sich manchmal mehrere Jahre hindurch. Entsteht im Bett eines solchen Baches oberhalb einer Mühle eine neue Spalte, so bildet sich hier eine andere Mühle, welche der unteren älteren das Wasser abschneidet. Sie bleibt dann trocken und kann ebenfalls mehrere Jahre noch sich erhalten.

Gelangt man aus der Region des aus Eis bestehenden Gletscherstammes in die Firnregion, so wird die Zahl der Spalten stets geringer, man kann oft eine Stunde in einer Firnmulde wandern, ohne eine einzige Spalte zu finden. Wo sie erscheinen, zeigen sie sich unregelmäßig verlaufend, aber von bedeutender Tiefe und Breite, gruppenweise auftretend. Was charakteristisch für sie ist und sie

von den Spalten im Gletschereise unterscheidet, ist der Umstand, daß sie meistens nach unten weiter werden, in wahre Höhlen hinabführen, die oft von einer trügerischen Schneedecke überdacht sind und den unvorsichtig Vorschreitenden mit einem schrecklichen Ende bedrohen. Eine sehr regelmäßig auftretende derartige Kluft am Ende der Firnmulden ist der sog. Bergschrund (Rimaye). Eine 5—10 m. tiefe, aber auch eben so breite Spalte trennt das Ende des Firns oder Schnees von den steilen Felsen, oder auch von einer an dieselben angefrorenen von langen Eisstalaktiten starrenden Eiswand, von der sich der Firn losgelöst hat. Die folgende Figur zeigt die Beschaffenheit eines solchen, den Forbes

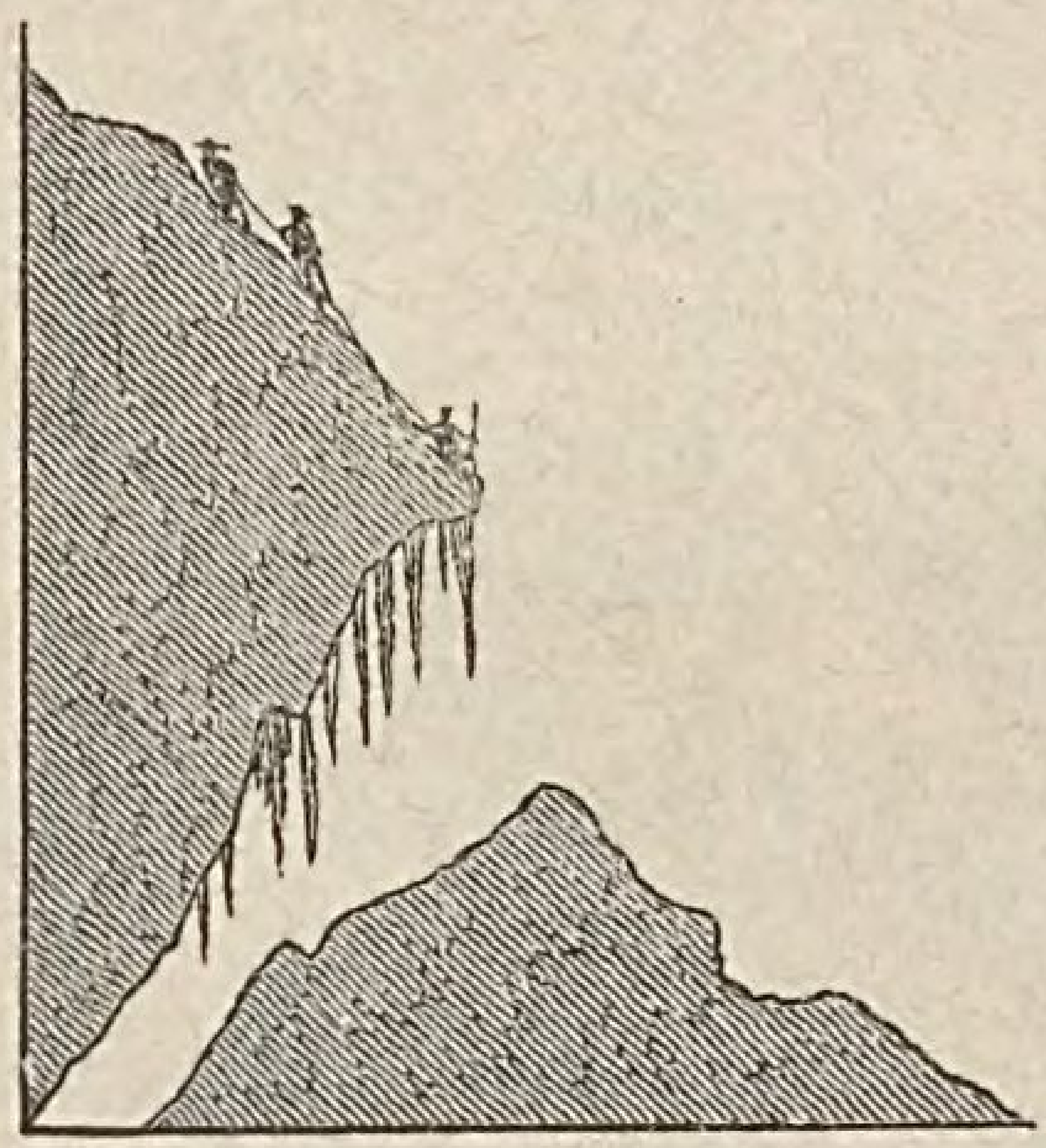


Fig. 37.

am Zmuttgletscher besteigen mußte. Nahe am Ziele zwingt manchmal ein solcher Schrund den Bergsteiger unverrichteter Dinge zurückzukehren.

Was uns bei einer Gletscherwanderung weiter sehr auffällt, ist die wechselnde Menge der Steintrümmer, die sich auf seiner Oberfläche finden. Am unteren Ende derselben so häufig, daß sie das Eis auf große Strecken völlig verdecken, so daß man zweifelhaft sein kann, ob man sich schon auf dem Gletscher befindet, nehmen sie nach oben hin an Menge ab,

ordnen sich mehr zu einzelnen Trümmerlinien, die in den oberen Gegenden des Gletschers schmäler werden und von ferne betrachtet nur als dunkle Linien auf dem weißen Grunde des Gletschers erscheinen, sich schließlich unter dem Firne und Schnee verlieren, oder auch an einer Felsenecke, am Vereinigungspunkte zweier Gletscherarme aufzuhören scheinen. Der Ursprung dieser Trümmermassen ist nicht schwer zu erkennen. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß der ganze Gletscher von Felswänden umgeben ist, welche der Verwitterung ausgesetzt sind, von denen unablässig größere oder kleinere Trümmer auf den Gletscher rollen, so wird es uns sofort als eine Nothwendigkeit erscheinen, daß die Ränder des Gletschers mit Trümmerhaufen bedeckt sind. Ueberall, wo ein Theil des Gletschers, sei es des Stammes oder des Firnes von Felsen begrenzt ist, wird er sich mit Trümmern beladen. Aber wie kommen diese Trümmer in die Mitte des Gletschers, die doch oft mehr als 1000 m. von dem Ufer entfernt ist? Es geschieht dies einzig durch die Bewegung des Gletschers thalabwärts, der wie ein ungeheuerer Schlitten alle Blöcke, die er auf seinem ganzen Wege gesammelt hat, bis an sein Ende schiebt, die auch ohne anderweitige Beobachtung am deutlichsten aus dieser Trümmervertheilung erkannt wird.

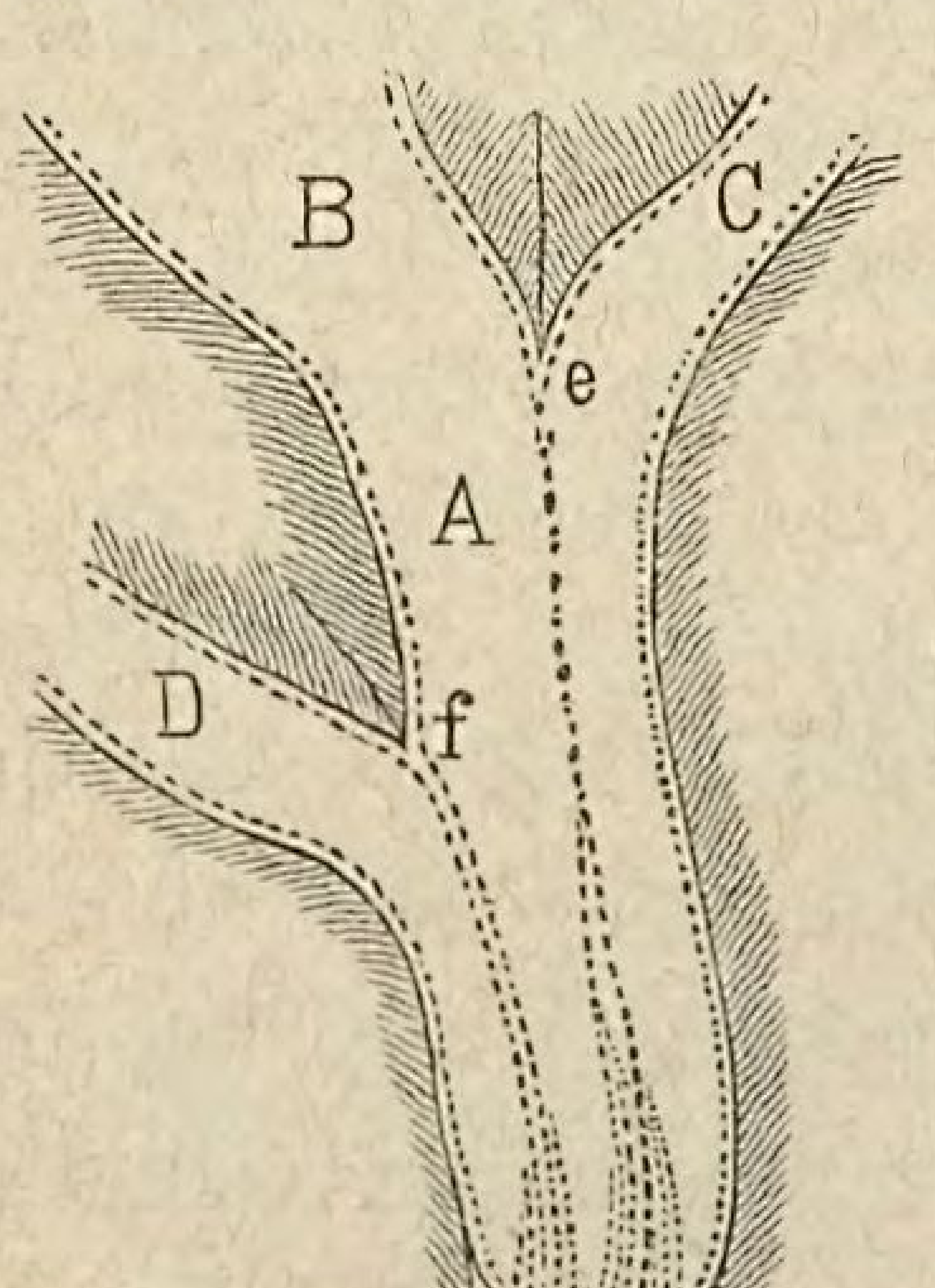


Fig. 38.

Die nebenstehende Figur wird dies klar machen.

Es sei A ein aus 2 Armen B und C bestehender Gletscherstamm, der sich in der Richtung des Pfeiles bewegt. Alle Trümmer nun, welche von den Bergwänden auf C und B herabrollen, müssen sich bei e durch

die Fortbewegung des Eises zu einem Trümmerwalle vereinigen, der von e an in der Mitte des Gletschers sich abwärts bewegt. Kommt bei D ein dritter Arm hinzu, so bildet auch dieser bei f eine gleiche sog. Gufferlinie. Aus der Zahl derselben kann man auf die Anzahl der Gletscherarme zurückschließen, da nach dem eben Entwickelten ein Gletscher soviel Arme haben muß, als er Gufferlinien hat, plus einem, da 2 Arme eine, drei Arme 2 Gufferlinien bilden müssen u. s. f. Die Felstrümmer, welche dieselben zusammensetzen, sind eine Sammlung aller Gesteinsarten der Felsen, an denen der Gletscher vorbeizieht. Von dem Momente an, wo sie auf den Gletscher gelangen, erleiden sie weiter keine Veränderung, als die unmerklichen, welche Luft und Wetter auf ihnen erzeugen. Sie sind daher meist scharfkantig und eckig und von allen möglichen Größen, von der Größe kleinen Gruses bis zu der haushoher Felsenmassen finden sie sich, je nachdem die Beschaffenheit der Gesteine der Art ist, daß die Verwitterung kleine oder große Felsenablösungen erzeugen kann.

Da auch um die Firnmulden rings herum Felstrümmer herabfallen, so finden sich auch unregelmäßig zerstreute Blöcke, aber stets in viel geringerer Anzahl auf dem Gletscher. Die zusammenhängenden Blocklinien oder Wälle werden auch Moränen genannt. Nach ihrer Lage unterscheidet man Mittelmoränen, Rand- und Stirnmoränen oder Endmoränen. Unter letzteren versteht man diejenigen Blockwälle, welche meist bogenförmig nach abwärts gekrümmt, vor dem Ende des Gletschers (g Fig. 38) ausgebreitet liegen. Sie bilden sich dadurch, daß das Ende des Gletschers abschmilzt und die Blöcke über den steilen Abhang desselben herabrollen. Die Betrachtung der Verhältnisse der Moränen führt uns so mit Nothwendigkeit zu einer näheren Untersuchung der Bewegung der Gletscher.

Bewegung der Gletscher.

Der erste, welcher Messungen über die Bewegung der Eisströme entstellte, war Hugi, der 1827 eine Hütte auf dem Unteraargletscher errichtete, um Gletscherstudien anzustellen. Seitdem ist gerade die Bewegung der Gletscher ein Gegenstand wie der eingehendsten Untersuchungen, so der lebhaftesten Discussionen geworden. Namentlich war es Agassiz, der mit seinen Freunden 5 Jahre hindurch Beobachtungen aller Art auf demselben Aargletscher anstellte, Forbes, welcher die Mer de Glace vorzugsweise zum Felde seiner Thätigkeit wählte, die Gebrüder v. Schlagintweit, welche auf der Pasterze arbeiteten, und Tyndall, welcher seine Messungen ebenfalls an der Mer de Glace, aber auch an einer größere Anzahl anderer Gletscher vornahm. Die von diesen Naturforschern mit einer Ausdauer und Aufopferung, wie sie nicht leicht andere wissenschaftliche Arbeiten nöthig machen, gewonnenen Resultate wollen wir zunächst kurz betrachten.

Da die Bewegung der Gletscher eine sehr langsame ist, wenn wir sie auch nur mit der Bewegung der Flüsse vergleichen, so erfordert es genauer Beobachtungsmethoden, um sie sicher bestimmen zu können. Die von allen angewandte Art und Weise war die, eine Reihe von Pfählen in gerader Linie quer über den Gletscher zu befestigen und von dem Ufer aus mit einem zum Messen eingerichteten feststehenden Fernrohre das Fortrücken derselben zu bestimmen, oder auch statt der Pfähle auf dem Gletscher vertheilte Blöcke dazu zu bestimmen.

Die so gefundenen Resultate wollen wir aus einigen speziellen Beispielen ableiten. Zunächst den Betrag des täglichen Fortrückens. Agassiz fand an einer Stelle des Aargletschers an 19 über den Gletscher seiner Breite nach ver-

theilten Pfählen folgende Zahlen für die mittlere tägliche Bewegung vom 21. Juli bis 16. August. Dieselben waren in der Weise vertheilt, wie es die folgende Tabelle erkennen läßt; nämlich von der Mitte an gerechnet 12 Pfähle nach links und 7 nach rechts.

Nr.	linke Seite (Lauteraargl.)	rechte Seite (Finsteraargl.)
12	63 mm.	
11	103	
10	127	
9	145	
8	167	85
7	178	125
6	199	168
5	197	206
4	206	193
3	208	201
2	221	225
1	226	

Die Bewegung ist in verschiedenen Tagen eine verschiedene. So ergab die Beobachtung eines Blockes auf der Mittelmoräne vom 21. Juli an folgende Zahlen der täglichen Fortbewegung:

21. Juli 250—182—208—221—270—230—200—160—212—145— also ein Schwanken derselben zwischen 145 und 270 mm.

Noch stärkere tägliche Bewegungen zeigt die Mer de Glace. An 11 quer über dieselbe unter dem Montavert aufgestellten Pfählen fand Tyndall am 21. Juli folgende Bewegung in 24 Stunden:

Stäbe: Ost.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	West.
	508 mm.	584	736	761	862	711	634	634	634	457	228	

im Maximum also fast 4mal so stark als das Maximum der Bewegung in der gleichen Zeit an dem Aargletscher. Keine

andere Stelle desselben Gletschers, auch keine irgend eines andern zeigte je eine so starke tägliche Bewegung, so daß wir dieselbe wohl als das Maximum ansehen dürfen*).

Da sich aus diesen Beobachtuugen eine Aehnlichkeit der Gletscherbewegung mit der eines Flusses an seiner Oberfläche deutlich zu erkennen gab, so lag es nahe eine solche auch für die Bewegung der tieferen Schichten im Verhältniß zu der der oberen zu vermuthen. Forbes, Dollfuß und Martins haben zuerst (1846) ziemlich gleichzeitig die Richtigkeit dieser Vermuthung durch Beobachtung bestätigt, ersterer am Ende des Deboisgletschers, letztere an dem Absturze des kleinen Grünberggletschers. Eine noch viel geeignetere Stelle wählte Tyndall, eine 150 F. hohe Wand des Glacier du Géant bei seiner Vereinigung mit dem Léschaux. Er befestigte an demselben 3 Stäbe, einen auf dem obern Rande, den zweiten 35 Fuß über dem Boden, den dritten 11 F. über demselben. Nach 24 Stunden war die Fortbewegung folgende:

am obersten 6 Zoll
" mittleren 4 1/2 "
" untersten 2 2/3 "

Aber noch eine weitere Aehnlichkeit der Bewegungen eines Gletschers mit der des Wassers in einem Strome läßt sich nachweisen, nämlich hinsichtlich der Art derselben, insofern, als wir fragen: Erfolgt dieselbe ruckweise oder ununterbrochen, wie die des Wassers? Auch diese Frage läßt sich durch die Beobachtung beantworten, indem wir die Fortbewegung des Gletschers unter dem Mikroskope betrachten. Ein auf dem Gletscherrande befindliches Stativ mit einem bis an das Ufer reichenden Arme, der an seinem Ende eine feine Nadel trägt, gestattet, die Fortbewegung der Spitze und

*) Die zeitweise stärkere mancher Gletscher, wie z. B. des Vernagt, werden wir später noch besprechen.

somit des Gletschers mit einem am Ufer fest aufgestellten Mikroskope zu verfolgen. Am Aletschgletscher von mir vorgenommene derartige Messungen ergaben, daß sich der Gletscher ohne die geringste Unterbrechung wenn auch ungleich schnell fortbewegt.

Noch eine weitere Aehnlichkeit wies Tyndall nach. Wenn nämlich ein Gletscher Krümmungen zeigt wie Fig. 34 A das Mer de Glace, so zeigt sich stets die Geschwindigkeit größer an dem convexen Theil des Bogens, als am concaven, unten stärker in Ost als in West. Die auf S. 193 mitgetheilten Zahlen lassen dieses durch Beobachtungen an andern Linien bestätigte Gesetz deutlich erkennen.

Aus den bisher mitgetheilten Thatsachen ergeben sich nun folgende Gesetze der Gletscherbewegung:

1. Der Gletscher bewegt sich schneller in der Mitte als an den Rändern,

2. schneller an der Oberfläche als in der Tiefe,

3. bei Krümmungen schneller am convexen als am concaven Theile,

4. nicht ruckweise, sondern ohne Unterbrechung.

Die Bewegung des Gletschers erfolgt demnach genau nach denselben Gesetzen wie die eines Stromes.

Diese Gesetze lassen sich schon durch kurzdauernde Beobachtungen an jeder Stelle eines Gletscher ableiten. Der Gletscher bietet aber hinsichtlich seiner Bewegungen noch eine Reihe von Eigenthümlichkeiten dar, welche an den Flüssen nicht beobachtet werden, die man jedoch nur bei länger fortgesetzter Beobachtung erkennen kann. Als die wichtigste gibt sich hier zunächst zu erkennen: der Einfluß der Jahreszeiten auf die Bewegung der Gletscher.

Wir haben nur 2 ein ganzes Jahr umfassende Beobachtungsreihen über die Fortbewegung von Gletschern, nämlich von der Mer de Glace, dem Unteraargletscher und für den Winter auch noch für den Grindelwaldgletscher. Die vollständigste und die größte Zahl von Einzelbeobachtungen umfassende Reihe verdanken wir Agassiz. Sie reicht vom 21. Juli 1845 bis 18. Juli 1846 und an einer andern Stelle vom 19. August 1845 bis 5. August 1846. Etwas mehr als ein Jahr umfaßt die Beobachtung von Forbes an der Mer de Glace vom 2. Okt. 1844 bis 21. Nov. 1845. Wir geben hier diese 3 Beobachtungsreihen, und zwar die mittlere tägliche Bewegung in Millimetern in dem in der ersten Kolumne angegebenen Zeitraume; auch hier ist wieder das Maximum fett gedruckt, das Minimum mit einem Sternchen bezeichnet.

Aargletscher.

Station Trift.		Station Hôtel.	
19. Aug. — 5. Sept.	200,0	21. Juli — 16. Aug.	222,6
5. Sept. — 11. Sept.	291,6	16. Aug. — 6. Sept.	198,0
11. „ — 23. „	178,3	6. Sept. — 12. „	266,6
23. „ — 24. Okt.	175,8	12. „ — 24. „	211,6
24. Okt. — 20. Nov.	157,7*	24. „ — 23. Okt.	193,8
20. Nov. — 19. Dez.	177,5	23. Okt. — 19. Dez.	153,3
19. Dez. — 30. „	186,3	19. Dez. — 11. Jan.	132,6*
30. Dez. — 11. Jan.	188,3	11. Jan. — 19. „	256,2
11. Jan. — 17. Febr.	179,4	19. „ — 17. Febr.	279,3
17. Febr. — 3. März	175,7	17. Febr. — 3. März	230,7
3. März — 17. „	170,4	3. März — 17. „	204,0
17. „ — 31. „	178,0	17. „ — 17. April	282,7
31. „ — 1. Mai	191,9	17. April — 30. Mai	**374,4**
1. Mai — 8. „	221,4	30. Mai — 13. Juni	342,8
8. „ — 25. „	291,1	13. Juni — 22. „	330,0
25. „ — 6. Juni	**379,1**	22. „ — 6. Juli	222,2
6. Juni — 29. „	276,0	6. Juli — 18. „	162,5
29. „ — 8. Juli	227,8		
8. Juli — 5. Aug.	219,7		

Mer de Glace.

2.	Okt.	— 14.	Okt.	812,8		17.	Mai	— 31.	Mai	939,8	
14.	„	— 2.	Nov.	706,1		31.	„	— 19.	Juni	975,2	
2.	Nov.	— 19.	„	614,6		19.	Juni	— 4.	Juli	1074,5	
19.	„	— 4.	Dez.	299,7		4.	Juli	— 18.	„	1323,3	
4.	Dez.	— 7.	Jan.	292,2	*	18.	„	— 6.	Aug.	1244,6	
7.	Jan.	— 18.	Febr.	355,6		6.	Aug.	— 8.	Okt.	906,8	
18.	Febr.	— 18.	März	431,8		8.	Okt.	— 8.	Nov.	924,5	
18.	März	— 17.	April	429,3		8.	Nov.	— 21.	„	764,5	
17.	April	— 17.	Mai	571,5							

Wir sehen daraus sofort erstens den Unterschied im Betrage der Bewegung zwischen Aargletscher und Mer de Glace, zweitens wie sich im Allgemeinen die Bewegung insofern den Jahreszeiten gemäß ändert, als mit dem Steigen der Temperatur die Bewegung sich steigert. Am reinsten tritt dies an der Mer de Glace hervor, weniger deutlich am Aargletscher, bei dem das Maximum auf Ende des Mai fällt. Ob dieser Gang der Bewegung ein allgemeines Gesetz sei, läßt sich aus diesen wenigen Beobachtungen noch nicht mit Sicherheit entnehmen, um so weniger, als namentlich an den beiden Stationen des Aargletschers merkliche Ungleichheiten sich zu erkennen geben, wenn man sie mit einander vergleicht. Eine weitere Beobachtung von Tyndall, der die Bewegung der Mer de Glace vom 28. auf dem 29. Dez. 1859 maß, ergab allerdings auch eine bedeutend geringere Geschwindigkeit, am Ende dieses Eisstromes nahezu nur die Hälfte der sommerlichen, während die Zahlen von Forbes des Maximum fast 5 mal größer als das Minimum ergeben.

Noch unsicherer ist der Einfluß der Tageszeiten auf die Bewegung. Agassiz glaubte zwar eine Abnahme derselben während der Nacht aus einer Reihe von Beobachtungen entnehmen zu können, doch zeigte sich bei genaueren zu diesem Zwecke vorgenommenen Untersuchungen, daß manchmal auch

bei Nacht die Bewegung sich rascher herausstellte, als am Tage. Ebenso ergab sich, daß während der 3 Tage 29. Juli bis 31. Juli, welche die wärmsten des ganzen Sommers waren, die Bewegung des Gletschers sich so verlangsamte, daß das Minimum der Bewegung in der Zeit vom 18. Juli bis 14. August gerade auf den 30. Juli fiel.

Außer der schon erwähnten Uebereinstimmung der Gesetze der Bewegung für Gletscher und Flüsse zeigt sich auch noch eine andere Aehnlichkeit zwischen beiden, nämlich eine Zunahme der Geschwindigkeit mit der Verengerung des Bettes und eine Abnahme mit der Erweiterung des Bettes und einem Dünnerwerden des Eisstromes. So kommt es dann, daß ein Gletscher nahe der Firnregion sich rascher bewegen kann, als weiter unten in der Mitte, und daß die Bewegung gegen das Ende wieder zunimmt. So hat Agassiz bei dem Aargletscher nachgewiesen, daß von einem Punkte nahe der Firnregion die Bewegung zuerst zunimmt, ein Maximum erreicht und dann wieder abnimmt, während nach den Messungen Tyndall's die Bewegung des Glacier du Géant nach unten abnimmt. Vergleichen wir mit den Bewegungen der großen Gletscher I. Ordnung diejenige von Gletschern II. Ordnung, worüber wir ebenfalls Agassiz eine Reihe von Untersuchungen verdanken, so zeigen sie ähnliche, aber dem Betrage nach geringere Bewegungen trotz der bedeutend steileren Neigungen ihres Grundes. Von Mitte Juli bis in den September ergab die Beobachtung an 5 kleinen Nebengletschern des Aargletschers tägliche Bewegungen zwischen 35 und 77 mm., während ihre Neigung zwischen 20 und 31° betrug. Es geht daraus hervor, daß die Masse eines Gletschers, besonders seine Dicke von dem größten Einflusse auf seine Bewegung ist.

Während über die Bewegungen der eigentlichen Gletscherstämme eine sehr große Anzahl von Beobachtungen für eine

große Anzahl von Gletschern vorliegt, sind wir fast ganz ohne solche über das Verhalten des Firnes. Eine einzige kurze Beobachtungsreihe hat Desor in einer kleinen, schmalen Seitenschlucht des Unteren Aargletschers angestellt, deren Neigung unten 29° betrug, nach oben bis zu 43° sich steigerte. Hier zeigte sich eine rasche Zunahme der Bewegung von oben nach unten.

Wie sich die großen Firnmulden, aus denen der Gletscherstamm sich bildet, verhalten, darüber liegt nur eine kurze Beobachtungsreihe vor*), welche ich im Juli 1875 an einem der Firnarme des Aletschgletschers, wo er eine Neigung von 9° hatte, anstellen konnte. Es ergab sich aus derselben:

1. daß sich auch am Firne die Mitte langsamer bewege, als die Seiten;

2. daß die Bewegung auch hier noch ziemlich energisch vor sich gehe; sie betrug nämlich auf der Mitte in 45 Stunden 104 cm., näher am Rande 41½ cm.;

3. daß neben einer einfachen Vorwärtsbewegung aber auch eine solche in vertikaler Richtung statthabe. Die Skalen, an denen die Beobachtung angestellt wurde, sanken nämlich in derselben Zeit um 82,5 cm. die erstere, um 35,75 cm. die letztere.

4. Die Bewegung nach einzelnen Stunden ergab sich außerordentlich unregelmäßig, bald gleichmäßig vor- und abwärts, bald nur vorwärts, bald nur abwärts gerichtet, hie und da auch nach oben und selbst etwas rückwärts. Kurz, das Detail der Bewegung zeigte sich äußerst unregelmäßig, wenn auch im Großen und Ganzen entschieden nach vorwärts und abwärts gerichtet.

Leider besitzen wir auch von dem Gletscherstamme keine derartigen Beobachtungsreihen, welche die Bewegung von

*) Abhandl. der Münch. Akad. d. Wiss. 1875.

Stunde zu Stunde zu bestimmen versuchten. Daß auch hier übrigens eine sehr große Ungleichheit der Bewegung stattfinde, davon überzeugte ich mich durch eine von 11 Uhr Morgens bis Abends 5 Uhr an einer Scala von Viertelstunde zu Viertelstunde vorgenommenen Untersuchung des Fortrückens. Auch hier zeigte sich in manchen Viertelstunden ein fast vollkommenes Verschwinden der horizontalen Vorwärtsbewegung, während sie in andern sehr stark war und bis zu 10 mm. anstieg. Für eine ganze Stunde schwankte die Bewegung in dieser kurzen Zeit von 6 Stunden von 8—30 mm.

Folgen und Wirkungen der Gletscherbewegung.

Wir betrachten zunächst die Folgen, welche sich an dem Gletscher selbst bemerklich machen. Als die wichtigsten müssen wir hier diejenige bezeichnen, die wir ohne auf ihre Ursache einzugehen, schon beschrieben haben, nämlich die Spaltung des Gletschers. Dieselbe ist lediglich eine Folge der Ungleichheit der Bewegung in Folge der Ungleichheit des Bodens,

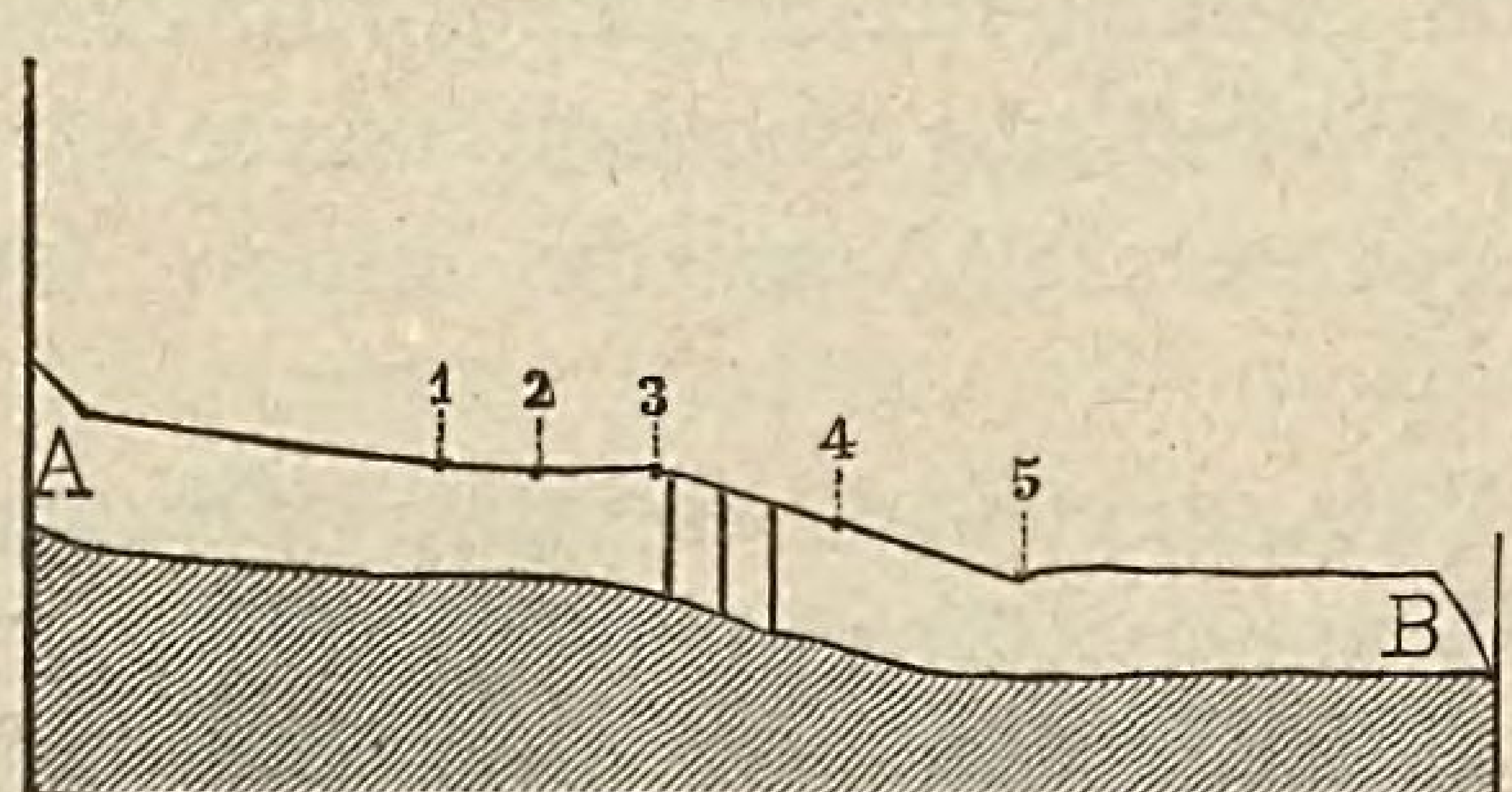


Fig. 39.

auf dem sich der Gletscher bewegt. Wo sich ein weiter thalabwärts gelegener Theil der Eismasse auch nur um wenig rascher bewegt, als der nachfolgende, muß sich das Eis spalten.

Nehmen wir den einfachsten Fall an, wie ihn unsre Figur veranschaulicht. Es seien 1, 2, 3 drei Punkte eines Gletschers, der sich von A nach B bewegt. Bis zu dem Punkte

3, bis wohin die Neigung des Bettes die gleiche ist, bewegen sich 1, 2, 3 mit gleicher Geschwindigkeit; nun kommt 3 auf den Theil, welcher eine stärkere Neigung erkennen läßt und damit eine raschere Bewegung des Eises veranlaßt, so daß in derselben Zeit, in welcher sich 2 bis an den Punkt 3 bewegt, dieser schon bis 4 gelangt ist. Da das Eis keine dehnbare Masse, und offenbar die Strecke 3—4 größer als 2—3 ist, so muß eine Spannung und eine Zerreißung des Eises quer über den Gletscher eintreten. Auf diese Weise läßt sich die Bildung der Querspalten erklären, ebenso die Thatsache, daß die Spaltung des Gletschers am stärksten an den Stellen sich zeigt, wo die Neigung rasch eine größere wird.

Auf demselben Grunde, nämlich der durch ungleiche Schnelligkeit erzeugten Spannung des Eises, beruht auch die Bildung der Randspalten und deren anfangs befremdliche aufwärts verlaufende Richtung. Wie alle Beobachtungen ergaben, nimmt die Bewegung von der Mitte gegen den Rand zu rasch ab. Denken wir uns die Bewegung des Gletschers von A nach A' vor sich gehend und A, B, zwei Eistheile, von denen B am nächsten am Ufer ist. Wir nehmen an, wir hätten bei A und B an in dem Eise befestigten Pfählen ein breites Band (der schattirte Theil stelle es vor) befestigt. In der Zeit nun, in welcher A nach A' gelangt, wird B nur nach B' gelangt sein, unser Band wird die Richtung A' B angenommen haben. Ist es elastisch, so wird es sich auch zu der Länge A' B ausgedehnt haben. Ist es aber nicht dehnbar, so wird es reißen, und zwar wird die Trennung in der Richtung tr senkrecht zu der Richtung der Spannung vor sich gehen. So erklärt sich die Richtung der Randspalten bei ihrer Entstehung, sie haben alle die

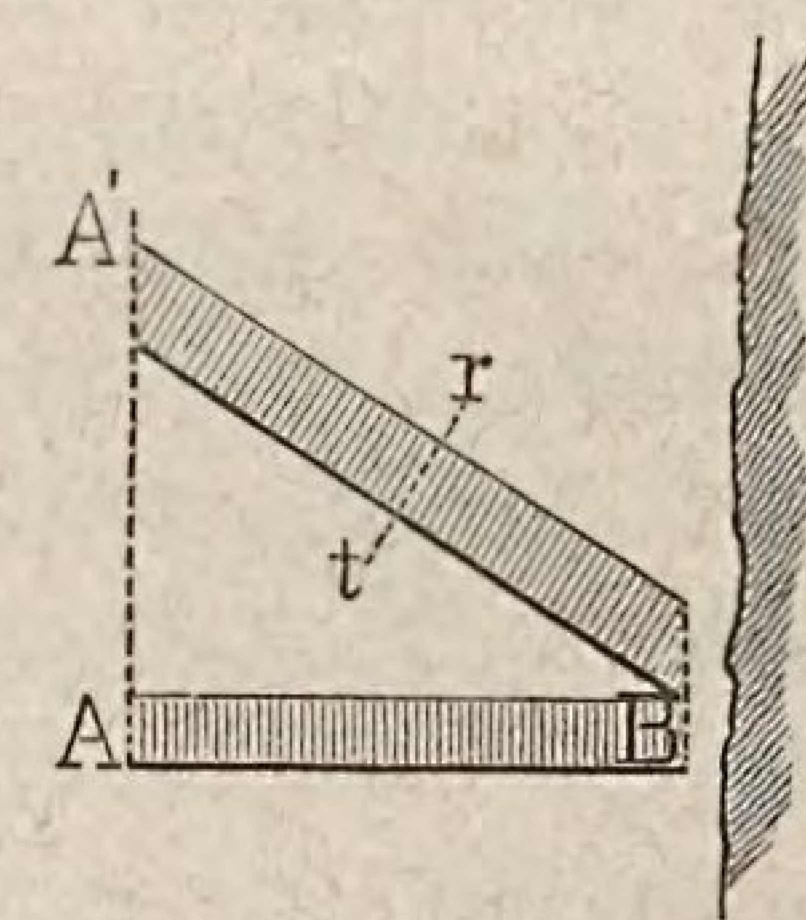


Fig. 40.

Richtung tr. Es bedarf wohl kaum noch der Erwähnung daß in diesen Verhältnissen der Schnelligkeitsänderung auch der Grund für die Schließung von Spalten liegt. In der That sehen wir ja auch, daß unterhalb der Eisfälle und Gletscherbrüche, wie die am steilsten geneigten und am meisten zerklüfteten Gletscherpartien genannt werden, diese wieder verschwinden, die getrennten Glieder sich wieder an einander schließen. Die einmal gebildeten Spalten sind demnach ebensowenig eine bleibende Erscheinung am Gletscher, wie der Schaum am Fuße des Felsblockes, über den das Wasser sich stürzt, aber die Bildung derselben findet immer wieder statt, wie der Schaum sich immer wieder erzeugt.

Eine Wirkung des Fortrückens der Gletschermassen haben wir schon erwähnt, nämlich den Transport der Blöcke, welche in der Firnregion wie weiter unten rings auf die Ränder der Firnmulden, wie auf die des Gletschers selbst fallen und allmälig, wie auf einem kolossalen Schlitten an das Ende des Gletschers geschleift und dort über den steilen Rand des Gletschers gestürzt werden. An geeigneten Stellen rollen solche Blöcke wohl auch einmal an dem Rande des Gletschers zwischen Eismasse und das Ufer; sie können auch durch Spalten, welche die Eismasse bis auf den Grund trennen, auf den unter dem Gletscher sich hinziehenden Boden gelangen. Diese Blöcke werden nun nach und nach durch die Bewegung des Gletschers und seine Reibung am Ufer zermalmt und verkleinert. Natürlich kommen auch die Felsen des Ufers nicht ohne Spuren und Narben von dieser Reibung zwischen Stein und Stein davon. Eine nähere Betrachtung derselben zeigt eine so charakteristische Beschaffenheit aller von einem Gletscher bearbeiteten Felsen, daß der Kundige sie nach Jahrtausenden noch erkennen und die Anwesenheit von Gletschern danach an Orten nachweisen kann, wo jetzt keine Spur von Gletschereis mehr vorhanden ist.

Eine oberflächliche Beobachtung solcher Felsen zeigt schon, daß sie nirgends eine scharfe Kante, oder vorspringende Ecken mehr erkennen lassen; selbst an den härtesten Gesteinen, wie Granit, und ähnlichen ist Alles abgerundet. Mächtige Felswände zeigen sich oft nur mit solchen welligen sanften Umrissen. Man hat sie als Rundhöcker bezeichnet, Agassiz nennt sie roches moutonnées. Betrachten wir ihre Oberfläche genauer, so zeigt sich dieselbe je nach der Beschaffenheit des Gesteines vollkommen glatt gerieben, ja selbst wie polirt, wenn das Gestein sehr hart und feinkörnig ist; dann finden sich auch lange ebenfalls abgerundete Furchen, wie eine Kanelirung, und überall sind diese Wände mit äußerst feinen Ritzen und Streifen versehen, die in paralleler Lage wie mit einem Grabstichel eingerissen sich über das Gestein in der Richtung der Bewegung des Gletschers hinziehen. In gleicher Weise zeigen sich auch bei einem Zurückweichen des Gletschers die Felsen des Bodens bearbeitet, ebenso die Felstrümmer und Steine, welche zwischen Gletscher einerseits und Ufer oder Boden andrerseits sich befanden und nicht völlig zermalmt und zerrieben wurden, ehe sie ans Ende gelangten. Man findet daher unter den Gesteinsfragmenten der Endmoränen der Gletscher zweierlei ganz verschieden geformte Stücke. Die einen, welche auf dem Eise getragen wurden, zeigen sich in der Form, in welcher sie von dem Berge sich loslösten und auf den Gletscher fielen, mit scharfen Ecken und allen Unebenheiten, die sie damals hatten, — die andern, welche zwischen Eis und festem unbewegtem Gesteine den Druck und die Last desselben trugen, erscheinen abgerundet, abgeschliffen und ebenso mit feinen Ritzen versehen, wie die Felsen des Ufers. Noch nirgends hat man derartige Formen an Felsen beobachtet, welche das Wasser allein bearbeitete. Sie werden nur durch das Eis erzeugt, welches feinere Körnchen von

hartem Material eingebacken enthält und sich damit an und über andere Felsen hinbewegt.

Durch das Abwärtswandern der Eismassen des Gletschers kommen die gewaltigen in den Firnmulden und oberhalb der Schneelinie sich ansammelnden Massen des Schnees wieder in Gegenden, wo sie durch die Wärme schmelzen, und so werden sie wieder dem Kreislaufe des Wassers zurückgegeben. Alle Gletscher erster Ordnung gehen weit unter die Schneegrenze herab. Sehen wir die oben mitgetheilte Tabelle (S. 179) an, so finden wir, daß sie sehr verschieden weit unter die Schneelinie herabreichen. Offenbar ist der Punkt, den sie bei ihrem Herabsteigen erreichen können, für alle derjenige, an welchem die schon von der Schneelinie an ihnen zehrende Wärme endlich über die ihrem Verderben geradezu entgegenlaufenden Eismassen vollständig Herr geworden ist. Ebenso klar ist es aber auch, daß dieser Punkt für alle Gletscher eine sehr verschiedene Lage haben und auch in verschiedenen Jahren ein sehr verschiedener sein muß. Wir können uns dies am leichtesten veranschaulichen, wenn wir uns vorstellen, daß von einem Punkte aus verschiedene Personen sich eine Portion Eis nehmen und damit bei einer Temperatur über Null fortgehen. Offenbar wird bei einem weiten Wege alles Eis schmelzen, aber je nachdem einer schneller läuft, oder mehr Eis genommen hat, oder es besser einpackt, wird es der eine weiter, der andre weniger weit bringen. Ebenso ist es auch bei den Gletschern: der eine bewegt sich rascher vorwärts, dafür hat ein andrer eine größere Firnmulde, oder ein schmaleres Bett; der eine muß von Norden nach Süden laufen und ist der Sonne mehr ausgesetzt, ein andrer hält sich auf dem Nordabhange eines Berges im Schatten und ist so gegen die Einwirkung der Sonnenstrahlen besser geschützt. Daher kommt es denn auch, daß nicht überall die Größe der Gletscher über das weitere Herabreichen entscheidet. Der am tiefsten nieder=

steigende untere Grindelwaldgletscher ist seinem Flächeninhalte nach einer der kleineren Gletscher, und der größte aller Gletscher, der Aletsch kommt unter den 17 S. 179 aufgeführten Gletschern, wenn wir auf das Herabgehen sehen, erst an siebenter Stelle.

Aber auch ein- und derselbe Gletscher muß sich sehr verschieden verhalten in verschiedenen Jahren. Ist die Menge der atmosphärischen Niederschläge eine sehr große und die Sommertemperatur eine niedrige, so wird er weiter vorwärts rücken können, als wenn das umgekehrte Verhältniß stattfindet. Da aber wegen der langsamen Bewegung des Gletschers 80 bis 100 Jahre vergehen, bis der Schnee und Firn aus den hoch gelegenen Mulden bis an das Ende gelangt, so werden uns zwei Thatsachen nicht befremden, die auf den ersten Blick allerdings Verwunderung erregen.

Nämlich die eine, daß die Gletscher oft gerade in recht heißen Sommern rasch vorrücken, und die andere, daß selbst einander nahe liegende und unter denselben meteorologischen Verhältnissen stehende Gletscher sich in dieser Beziehung ganz ungleich verhalten, so daß der eine im Vorrücken begriffen ist, während der andere zurückgeht. So beobachtete z. B. Agassiz 1839 an den beiden, nur durch einen Bergkamm getrennten Aargletschern, daß der eine vorrückte, während der andere sich zurückzog. Bei einigen Gletschern ist dieses Schwanken oft ein sehr bedeutendes, mehrere 1000 Fuß erreichendes, so daß nicht selten Häuser von ihnen weggeschoben wurden.

Ebenso nimmt dann auch die Dicke der Gletscher ab und zu, es kann dieselbe nahe an den Enden um 100 F. schwanken.

Außer diesen unregelmäßigen und an keine bestimmte Zeiten gebundenen Veränderungen zeigen sich solche auch regelmäßig mit dem Wechsel der Jahreszeiten. Im Winter fällt der Schnee massenhaft auch noch auf das Ende der

Gletscher und vergrößert dieselben, während die Abschmelzung zu gleicher Zeit vollkommen, oder fast vollkommen aufhört. Die eigentliche Eismasse des Gletschers wird nicht eher von der Wärme des Frühlings und Sommers angegriffen, als diese Schneemassen verschwunden sind.

Ueber den Betrag der Abschmelzung (Ablation nach Agassiz) im Sommer haben wir eine Reihe direkter Versuche; aber auch der Gletscher selbst liefert in manchen seiner Erscheinungen ein Mittel, das Resultat derselben in einem längeren Zeitraume zu bestimmen, in den sog. Gletschertischen.

Vier Ursachen der Abschmelzung machen sich an den Gletschern bemerklich:

1. Die direkten Sonnenstrahlen, 2. die Luftwärme, besonders die warmen Winde, vor Allem der Föhn, 3. der Regen, 4. die Verdunstung.

Das Maß der Einwirkung dieser einzelnen am Firn und Gletscher zehrenden Kräfte läßt sich nicht im Allgemeinen nach Zahlen bestimmen, da sie nicht nur für jeden Gletscher, sondern auch für jede verschieden gelegene Stelle eines Gletschers sich verschieden verhalten und in verschiedenen Jahren außerordentlich wechseln können.

Wir haben über die Abschmelzung des Firnes keine Beobachtungsreihen — eine Reihe von Stangen im Firn des Finsteraargletschers waren mehrere Jahre vom Schnee bebedeckt, dann wieder frei (Agassiz), so daß über die Abschmelzung daraus kein sicherer Schluß zu ziehen ist; — dieselben liegen nur für den eigentlichen vereisten Gletscherstamm vor. Die umfassendsten Beobachtungen verdanken wir auch hierüber wieder Agassiz. Am untern Ende der Firnregion wird die jährliche Schneeschichte, die sich in Firn umgewandelt hat, im Betrage von 2—2,5 m. Dicke vollständig aufgezehrt. Tiefer abwärts wird dann das Eis mehr und mehr angegriffen.

Nach Agassiz beträgt die Abschmelzung für den Aargletscher im Mittel 3—3,5 m. Escher v. d. Linth brachte in ein 42 m. tiefes Bohrloch des Aletschgletschers Holzstücke, die er durch Lagen kleiner Steinchen von 3 m. Dicke von einander sonderte. Das oberste Holzstück befand sich ½ m. unter der Oberfläche des Gletschers. Nach 3½ Jahren waren schon 4 Holzstücke durch die Abschmelzung zu Tage gekommen, so daß danach auf ein Jahr 3,2 m. Abschmelzung kämen.

Eine große Anzahl von Beobachtungen haben wir über die Abtragung der Gletscherfläche in den Sommermonaten. Nach Agassiz' Beobachtungen betrug sie auf dem Aargletscher in einer Höhe von 2456 m. (7650 F.) im Juli 1841 täglich im Mittel 70 mm., im August 33 mm. Im Juli schwankte sie zwischen 55 mm. und 105 mm. für den Tag.

1845 erhielt er folgende Resultate als tägliches Mittel aus 21 Beobachtungspunkten quer über den Gletscher, wovon 8 auf dem Finsteraar- 13 auf dem Lauteraararm sich befanden.

Station Hôtel.		Wetter.
21. Juli — 31. Juli	44,8 mm.	abwechselnd hell und trübe, 2 sehr heiße Tage.
31. Juli — 11. Aug.	25,3	Regen und Nebel.
11. Aug. — 16. „	13,6	Regen und Nebel, dreimal Schnee.
16. „ — 6. Sept.	30,2	hell und trüb, dazwischen sehr warm.
6. Sept.— 12. Sept.	24,6	schön.
12. „ — 24. „	15,0	Regen und Schnee, wechselnd.
Mittel	30,7	

Man sieht daraus sehr deutlich den Einfluß des Wetters und der Tageslänge auf die Abschmelzung. Sichere Resultate in dieser Beziehung zu erreichen, hat übrigens ganz besondere Schwierigkeiten, auf die Forbes aufmerksam gemacht wurde,



Fig. 41.

als er an der Mer de Glace ähnliche Beobachtungen anstellte. Er fand nämlich, daß die Oberfläche des Gletschers sich ihrer Lage nach verändert, und zwar im Sommer sich erniedrigt auch ohne Abschmelzung, indem die Gletschermasse sich senkt, wahrscheinlich dadurch, daß Höhlungen durch das Wasser unter der Oberfläche, Spaltenerweiterungen sich bilden, welche ein Nachsinken der Oberfläche erzeugen. Mißt man aber, um diese Veränderung nicht mit in der Beobachtung zu erhalten, die Abschmelzung an Pfählen, welche im Eise befestigt sind, wie es Agassiz, Schlagintweit und andere meistens gethan, so muß man darauf gefaßt sein, daß die Pfähle sich ebenfalls etwas bewegen können, indem das Loch, in welchem sie stecken, weiter und tiefer wird.

Die höchst unregelmäßigen Niveauveränderungen, welche der Gletscher, die Stangen als unbeweglich angenommen, bei der Beobachtung von Forbes zeigte, lassen kaum eine andere Erklärung zu, als daß die Stangen sich nicht unverändert in ihrer Lage erhielten.

Von dem hohen Betrag der Abschmelzung kann man sich auf dem Gletscher selbst auch ohne Messung überzeugen, indem eine Reihe von Erscheinungen dieselbe sehr deutlich vor Augen führen. Unter diesen ist eine der auffallendsten die der sog. Gletschertische. Man sieht nicht selten in den untern Gegenden der Gletscher ungeheuere Felsplatten auf einem Fuße von Eis. Eines der großartigsten Beispiele hat Forbes auf der Mer de Glace beobachtet und abgebildet. Die riesigen Dimensionen desselben gehen aus der Fig. 41 selbst hervor, in welcher der darauf sich befindende Mann als Maßstab dienen kann. Schon 1787 gab Studer die richtige Erklärung dieser Erscheinung, deren verschiedene Stadien man auf jedem Gletscher, wenn auch häufig nur an kleinen Exemplaren wohl verfolgen kann. Sie hat ihren Grund in dem Schutze, den der zuerst auf der Oberfläche des Gletschers ruhende Block

dem unter ihm liegenden Eise gegen die Sonnenstrahlen und warme Luft gewährt. Rings herum schmilzt das Eis ab, unter ihm um so weniger, je dicker der Block ist. Allmälig greift aber die warme Luft den Eispfeiler, der anfangs fast genau den Umfang des Blockes hat, von den Seiten an, und ist er ziemlich hoch über dem abgeschmolzenen Eise, so treffen die Sonnenstrahlen auch seinen Fuß. Ist dann endlich durch die seitliche Abschmelzung der Schwerpunkt des Blockes seiner Stütze beraubt, so fällt die Tischplatte herab und bildet sich, hat sie nur Zeit dazu, einen neuen Fuß.

In ähnlicher Weise bilden sich auch nicht selten Termitenhaufen ähnliche mit kleinen Steinchen und Sand bedeckte Erhöhungen, aus. Findet sich nämlich in irgend einer kleinen Vertiefung ein Haufen solcher Gesteinstrümmer, meist durch das Schmelzwasser zusammengespült, zusammen, so gewähren sie dem Grunde desselben ebenfalls Schutz gegen die Abschmelzung, die nach und nach die Umgegend mehr und mehr erniedrigt, und so entstehen kleine Erhöhungen, die sich so lange erhalten, bis sie so steil werden, daß der Schutt herabrutscht, worauf die Eispfeiler ebenfalls bald der übrigen Fläche gleich gemacht werden.

In noch größerem Maßstabe gewähren die gewaltigen Blockanhäufungen der Mittelmoränen dem Gletscher Schutz gegen die Abschmelzung. Sie erscheinen deswegen wie große ganz aus Steinen aufgeschüttete Wälle, die nach unten hin breiter und höher werden. Eine nähere Untersuchung derselben zeigt aber, daß sie aus einem mit Steinen überkleideten Eisrücken bestehen. Zwischen den Fugen der einzelnen Steine dringt nämlich die Wärme doch ein, schmilzt auch von den Seiten her, wie an einem Gletschertische die erhöhte Eisunterlage, und die Blöcke rutschen in Folge dessen nach den Seiten. So erklärt sich das allmälige Breiterwerden der Mittelmoränen, so daß ganz am Ende manche Gletscher

eine zusammenhängende Trümmer- und Schuttlage zeigen, indem die verschiedenen Mittelmoränen sich auf diese Weise an ihren Rändern mischen. Von ganz besonderem Einfluß auf die Abschmelzung zeigt sich die Nähe der Felsen am Ufer, besonders wenn sie direkt von den Sonnenstrahlen erwärmt werden. Die Abschmelzung ist hier so stark theils von den reflektirten Sonnenstrahlen, theils von der am Felsenufer mehr sich erwärmenden Luft, daß der Gletscher gegen das Ufer meist ziemlich stark abfällt und oft einen breiten Spalt — die sog. Randkluft — zwischen dem Eise und dem Ufer vorhanden ist. Der Unterschied in der Höhe zwischen der Mitte des Gletschers und dem Punkte, wo das Eis das Ufer berührt, ist manchmal sehr bedeutend, wenn auch wegen der nicht unansehnlichen Breite der Gletscher dem Auge nicht sehr auffällig. Am Aletschgletscher z. B. betrug derselbe 1872 im August 180 Fuß.

Die Abschmelzung des Eises, welche nach unten hin immer energischer wird, erklärt auch am ungezwungensten eine Erscheinung, welche ebenfalls, wie fast alle Gletscherphänomene, vielfach gedeutet und in mancherlei Weise erklärt wurde, nämlich die, daß unter dem Eise verborgene, in Spalten gefallene Blöcke im Verlaufe des Gletschers wieder an der Oberfläche erscheinen, „ausgestoßen" werden, wie es die Bergbewohner bezeichnen.

Die einfachste Erlärung ist offenbar die, welche den Grund im Zusammenwirken der Abschmelzung und der Vorwärtsbewegung sucht, und zwar in folgender Weise.

Es stelle in Fig. 42 A einen bei B in eine Spalte gefallenen Block vor. Die Eismasse bewege sich nun in der Richtung A C. Würde keine Abschmelzung erfolgen, so würde der Punkt B nach einer gewissen Zeit in D sein, den Weg, den die punktirte Linie anzeigt, zurückgelegt haben und der Block demnach in C eben so tief unter dem Eise als A. Denken wir uns nun

aber, daß während der Bewegung der Eisschichte von A nach C durch die Abschmelzung die Oberfläche ein Stück gleich AB verloren habe, so muß der Block bei C an die Oberfläche gelangen. Ob wir uns den Block ins Eis gesunken oder, wie es in höheren Regionen der Fall ist, mit Schnee und Firn überdeckt denken, bleibt sich gleich. Bleibt er in dem Niveau liegen, in welchem er sich bei A befindet, so muß ihn die Abschmelzung und Fortbewegung wieder ans Tageslicht bringen. Da diese Erklärung vollkommen genügt, andere von Voraussetzungen ausgehen, die sich nicht erweisen lassen, so wollen wir nicht näher auf solche eingehen.

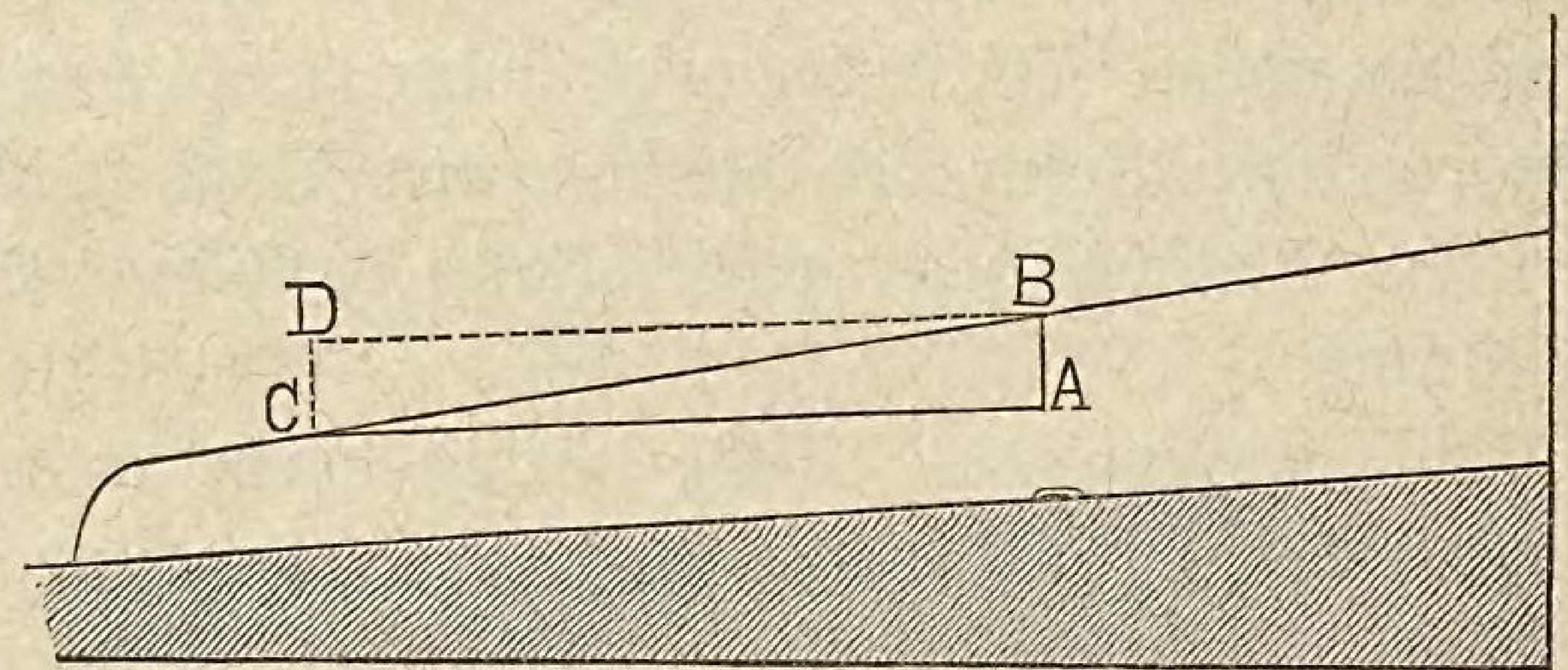


Fig. 42.

Wir haben bisher nur die Abschmelzung des Gletschers auf seiner Oberfläche betrachtet. In der warmen Jahreszeit findet aber auch sicher eine solche Schmelzung auf dem Grunde des Gletschers, wenigstens am Ende desselben statt. Wie weit hinauf aber diese reiche, darüber ist vielfach gestritten worden. Einige nehmen an, daß der Gletscher bald ober seinem Ende auf dem Boden angefroren sei, d. h., daß sich die Temperatur des Bodens auf Null oder selbst unter Null, und kein flüssiges Wasser auf dem Grunde sich befinde, andre glauben, daß die Wärme des Erdbodens unter dem Gletscher etwas über dem Schmelzpunkte des Eises sei und demnach auch von unten her der Gletscher stets etwas schmelze. Von

beiden Parteien werden Thatsachen angeführt, welche für ihre Ansicht beweisend sein sollen. Bei sorgfältiger Erwägung derselben werden wir aber zu dem Schlusse kommen, daß sie doch nicht eine vollkommene Sicherheit gewähren. Was zunächst die Beobachtungen am untern Theile des Gletschers betrifft, so ist die Anwesenheit von Gängen unter demselben bis auf mehrere 100 Fuß nachgewiesen. So drangen die Gebrüder v. Schlagintweit unter dem Marcellgletscher 210 m. weit vor. Aber einmal sind diese Gänge nur am unteren Ende beobachtet worden und dann sind sie doch nur verhältnißmäßig schmale Rinnen, welche durch äußere Einflüsse mehr als durch die Bodenwärme entstehen, und beweisen nicht die Abschmelzung auf der ganzen unteren Fläche.

Als weiteren Beweis für die Abschmelzung hat man die Entleerung einer großen Anzahl von kleineren Gletscherseen unter dem Gletscher durch angeführt, von denen der Mergelinsee am Rande des großen Aletschgletschers wohl das merkwürdigste Beispiel darbietet. Derselbe fließt nämlich ziemlich regelmäßig im Sommer unter dem Gletscher hindurch ab und schwillt dadurch den Gletscherbach desselben, die Massa, so an, daß sie, nachdem sie die enge Schlucht verlassen, in der sie zuerst strömt, bedeutende Ueberschwemmungen veranlaßt. Allein es läßt sich daraus weiter nichts schließen, als daß in dem Gletscher bis zu einer Tiefe, welche dem Grunde dieses oder anderer Seen gleich oder auch etwas größer ist, Wege für das Wasser desselben geöffnet sind, ob aber das letztere wirklich auf den Grund des Gletschers gelange, läßt sich in keiner Weise erhärten. Daß solche Bahnen für das Wasser in dem Gletschereis oberhalb des Bodens sich bilden, dafür hat v. Sonklar ein sehr deutliches Beispiel an dem Sechsegertenbach in seinem Verhalten zum Taschachgletscher bekannt gemacht, der dreimal unter dem Gletscher verschwindet und zweimal dazwischen denselben wieder verläßt, also keinen Weg

zur Tiefe bis auf den Grund gefunden hat. Er führt diesen Fall als einen Beweis dafür an, daß der Gletscher an seiner Unterfläche fest dem Boden sich anschmiege, keine Abschmelzung also hier stattfinde. Uns scheint jedoch der letztere Schluß nicht nothwendig aus dieser interessanten Beobachtung hervorzugehen. Sie beweist entschieden weiter nichts, als daß sich Wasser in gewisser Tiefe unter der Oberfläche fortbewegen, aber durchaus nicht, daß deswegen ein Abschmelzen auf dem Grunde nicht statthaben könne. Denn wenn auch das Eis ziemlich lebhaft auf dem Grunde abschmilzt, so ist damit nicht nothwendig auch die Folge verknüpft, daß nun Wege für das Wasser zwischen Eis und Boden eröffnet seien. Nehmen wir die Dicke des Gletschers auch nur zu 640 F. an, so drückt das Eis mit einer Last von 30 Atmosphärendruck oder 220 Kilogramme auf jeden Quadratzoll auf seiner Unterlage. Man denke sich eine Eisplatte von 1 Quadratfuß auf einen etwas erwärmten Stein gelegt und mit einem Gewichte von 144 × 220 Kilogramme, d. h. 31680 Kilogramme oder 633 Centner beschwert, so entspricht das den Verhältnissen, die wir auf dem Grunde eines Gletschers finden. Es möchte wohl schwerlich Jemand hier geneigt sein anzunehmen, daß ein Wasserstrom zwischen dem Eis und seiner Unterlage sich bewegen könne. Also könnten wir aus dem Umstande, daß kein Wasser zwischen dem Grundeis und dem Boden sich bewegt, selbst wenn derselbe bestimmt nachgewiesen wäre, nicht den Schluß ziehen, daß keine Abschmelzung stattfinde.

Es fragt sich nun, ob man nicht, da die am Gletscher sich zeigenden Erscheinungen keine Entscheidung bringen, nicht aus anderweitigen physikalischen Thatsachen bestimmen könne, ob eine Abschmelzung unten stattfinde oder nicht. Bei der großen Wichtigkeit, welche diese Frage für die Theorien der Gletscherbewegung hat, wollen wir darauf etwas näher eingehen. Es kommen hier 2 Verhältnisse in Betracht: 1. die

Temperatur des Erdbodens, 2. die Temperatur des Gletscherinnern.

Was zunächst die letztere betrifft, so können wir darüber nichts Sicheres aussagen. Agassiz hat außerordentlich viel Zeit, Mühe und Geld darauf verwandt, um dieselbe experimentell zu bestimmen, indem er tiefe Löcher bohren ließ und Minimum-Thermometer in das Eis versenkte. Aber ein zuverlässiges Resultat hat er nicht erhalten können. Das tiefste Bohrloch erreichte eine Tiefe von 60 m., die Temperatur erhielt sich hier constant auf Null. Da aber hier noch flüssiges Wasser circulirte, so ließ sich daraus kein weiterer Schluß ziehen, wie es ja von selbst verständlich ist, daß überall wo Eis und Wasser mit einander längere Zeit in Berührung sind, die Temperatur keine andere als die des Schmelzpunktes des Eises sein kann. Ein in dem Gletscher 2,10 m. tief eingebrachtes Minimum-Thermometer, das 2 Jahre nachher sorgfältig herausgethaut wurde, ergab, daß die Temperatur nie weiter als auf 2,1° unter Null gesunken war. Aber auch damit ist nicht viel gewonnen, es zeigt diese Beobachtung nur, daß die äußere Temperatur auch durch das Eis in die Tiefe dringen kann. Der Gletscher ist eine Masse, die nie höher als null Grad sich erwärmen kann, wohl aber durch die Kälte des Winters unter Null sich abkühlen, aber bis zu welchem Grade und bis zu welcher Tiefe, darüber ergeben die Versuche nichts.

Von wesentlichem Einflusse werden jedenfalls auch die Spalten sein. Im Sommer lassen sie wärmere Luft und die weiteren auch größere Massen nach Agassiz selbst über den Gefrierpunkt des Wassers erwärmte Schmelzwässer in die Tiefe gelangen, während im Winter ebenso durch die nicht mit Schnee erfüllten Spalten die Kälte tief in das Innere des Gletschers eindringen kann. Man sieht daraus, daß die

Temperaturverhältnisse eines Gletschers sehr complicirt und an verschiedenen Stellen sehr verschiedenartig sein müssen.

Wie verhält sich nun die Temperatur des Bodens unter dem Gletscher?

Wenn wir die Bodenwärme an einer Stelle untersuchen, wo sich unmittelbar die Luft über demselben befindet, so finden wir, daß schon in der Tiefe von wenig Zoll die Temperaturunterschiede viel geringer werden als an der Oberfläche, die Schwankungen geringer und langsamer eintretend. Kälte und Wärme braucht längere Zeit, bis sie in den Boden eindringt. Bis zu einer Tiefe von 80—100 F., die je nach der Beschaffenheit des Bodens schwankt, machen sie sich noch etwas bemerklich, dann aber tritt konstante Temperatur ein. An diesem Punkte ergibt jede Schichte, von zufälligen Störungen abgesehen, aus allen ihren Temperaturen die mittlere Jahrestemperatur des Punktes der Erdoberfläche, welcher senkrecht über ihr liegt. Nur bei steilen Abhängen muß man etwas tiefer hinabdringen, um die konstante Temperatur zu finden, weil hier von der Seite die erkältenden und erwärmenden Einflüsse sich noch geltend machen können, die bei einer Ebene nur von oben einwirken.

Wo die mittlere Jahrestemperatur der Bodenfläche mehr als null Grad beträgt, muß eine Abschmelzung erfolgen. Aber wo herrscht diese?

Untersuchen wir neben einem Gletscher oder in Gegenden, wo sich keine befinden, die Bodentemperatur, so finden wir, daß jene Temperatur von null Grad erst in Höhen beginnt, unter welche die Gletscher weit heruntergehen. Die Angaben darüber, wo jene Bodentemperatur sich in den Alpen finde, weichen stark von einander ab, da direkte Beobachtungen über die Wärmeverhältnisse des Bodens aus größeren Höhen nicht vorliegen und wir zur Bestimmung der Bodentemperatur von null Grad die Lufttemperatur desselben Grades, die eben-

falls nur aus unvollständigen Beobachtungsreihen berechnet sind, herbeiziehen müssen. Daß selbst in den höchsten Höhen der Alpen unter den Einwirkungen der Sonnenstrahlen die Felsen sich so stark erwärmen, daß der Schnee etwas schmilzt, dafür haben wir viele Beispiele. Selbst an Stellen, wo die mittlere Jahrestemperatur —10° beträgt, findet ein Abschmelzen in den Sommermonaten statt, erwärmt sich der nackte Boden über Null. Bei den Gletschern finden sich aber so ganz andere Verhältnisse, daß wir über die Temperatur des Bodens unter ihnen nichts Sicheres sagen können. Der Boden unter ihm ist nämlich den erwärmenden Einflüssen der Sonne und Luft

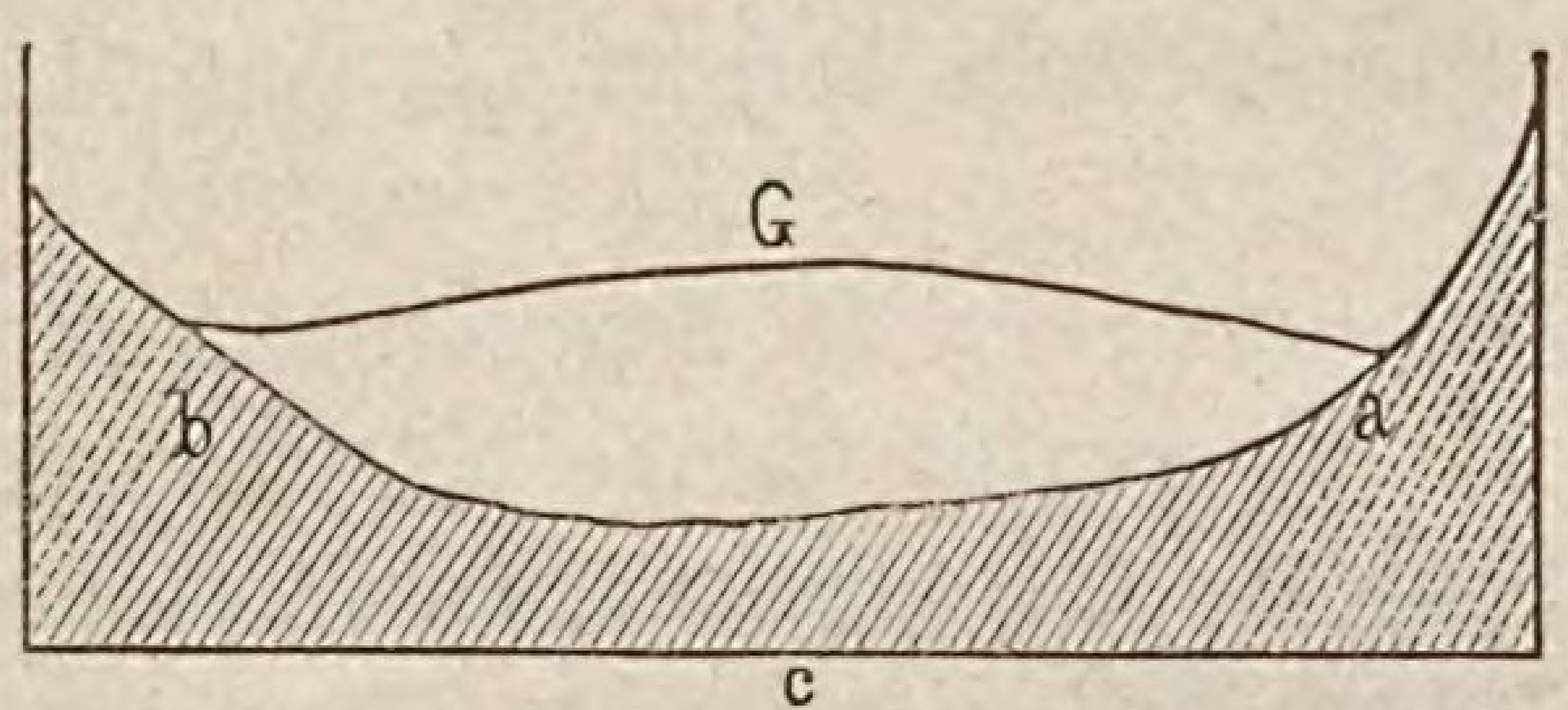


Fig. 43.

vollständig entzogen. Er befindet sich offenbar unter der Eisschichte, beständig von ihr bedeckt, unter dem Einflusse einer Temperatur, welche nie höher als null Grad steigen kann. Ein großer Theil der Gletscher reicht aber in Gegenden herab, wo die mittlere Jahrestemperatur 3° R. beträgt. Nehmen wir an, daß die Oberfläche des Bodens hier dieselbe Wärme habe, so ist offenbar, daß der Grund unter dem Gletscher hinsichtlich seiner Temperatur beeinflußt wird: erstens von der höheren Temperatur der in der Figur 43 punktirten Seitentheile, zweitens von der Temperatur des Eises G. Nun ist aber auch ebenso klar, daß an der Grenze des Gletscher- und Bodeneinflusses bei a und b die Temperatur eine etwas höhere sein wird als unter der Mitte bei c, und erst von dem Punkte an, wo auch bei a und b

der Boden null Grad zeigt, wird die Temperatur des Bodens unter dem Gletscher überall, auch an den Rändern, auf Null sein können. Wo aber die Temperatur des Bodens neben dem Gletscher über Null ist, muß auch die Temperatur des Bodens unter dem Gletscher etwas höher sein, als die Temperatur des Eises. Und so kommt es demnach bei der Frage: findet ein Abschmelzen des Gletschers an seiner Unterfläche statt, ganz allein darauf an, ob wir die Temperatur des Eises in der Tiefe unter dem Schmelzpunkt oder auf demselben annehmen. Findet das letztere statt, so muß auf dem Boden eine Abschmelzung stattfinden; ist das erstere der Fall, so kann dieselbe nur dann eintreten, wenn das Plus der Wärme des Bodens mehr beträgt als das Minus der Eistemperatur.

Man wird aus dem Vorhergehenden entnehmen, daß die Frage, ob auf der Unterlage des Gletschers eine Abschmelzung erfolge, bei dem gegenwärtigen Standpunkte unseres Wissens in keiner Weise, weder nach den vorliegenden Erscheinungen, noch auch auf theoretischem Wege allgemein beantwortet werden könne.

Man hat auch noch eine Thatsache angeführt, welche dafür sprechen soll, daß wenigstens im Winter kein Abschmelzen auf dem Grunde stattfinden könne, nämlich den Umstand, daß selbst an großen Gletschern der Gletscherbach in den kältesten Monaten vollkommen versiege. Für den Aargletscher hat sich dies durch einen Winterbesuch Desor's sicher konstatiren lassen. Wir können das aber nicht als einen Beweis für jene Ansicht gelten lassen. Es beweist zunächst weiter nichts, als daß kein Wasser aus dem Gletscher herauskann, was durch ein Zugefrieren der Kanäle am Ende, durch eine Verstopfung derselben von Schnee sehr wohl erklärlich ist. Selbst wenn sie am Ende noch offen stünden, was aber nicht beobachtet wurde, würde es immer noch nicht die Möglichkeit

ausschließen, daß weiter oben an der Unterfläche der Gletscher etwas abschmilzt; das dadurch gebildete Wasser würde eben im Gletscher zurückgehalten. Unter diesen Umständen müssen wir beide Meinungen als gleichberechtigt ansehen, bis es gelungen sein wird, die eine oder die andere als die allein berechtigte zu erweisen.

Die Ursachen der Bewegung der Gletscher.

Wir haben schon mehrmals die Veranlassung gehabt, die Bewegung der Gletscher zu besprechen, ohne nach der Ursache derselben zu fragen, da wir zunächst die aus der Beobachtung sich ergebenden Erscheinungen und Thatsachen, über die kein Zweifel sein kann, schildern wollten. Wir müssen nun aber auch doch auf die Erklärung derselben etwas näher eingehen. Sehen wir uns in der äußerst umfangreichen Literatur über die Gletscher um, so finden wir eine ziemliche Reihe der verschiedensten Erklärungsversuche. Wir dürfen daraus, wie immer, wenn uns eine derartige Erscheinung aufstößt, den Schluß ziehen, daß keine der mancherlei Erklärungen bereits vollkommen befriedigende Rechenschaft von allen Erscheinungen gibt.

Uebersehen wir das Gemeinschaftliche, was die verschiedenen Theorien darbieten, so können wir sie in 2 Abtheilungen bringen. Die eine umfaßt diejenigen, nach welchen die Schwere das Bewegende ist, nach den andern ist es eine physikalische Eigenschaft des Wassers oder des Eises, nämlich die Volumsvermehrung beim Gefrieren, oder durch Absorption von Wasser und Gas aus der Luft (Hugi), welche den Gletscher ausdehnt und dadurch thalabwärts vorwärts schiebt.

Nach den ersteren ist die Bewegung im Wesentlichen ein Gleiten, nach der andern eine Ausdehnung (Dilatation) des Eises. Man spricht deswegen auch von einer

Gleitungstheorie und einer Dilatationstheorie. Beide sind in verschiedenen Modifikationen aufgestellt worden. Wie es scheint, ist die letztere zuerst für die Gletscherbewegung herbeigezogen worden und zwar von Scheuchzer 1723. Später in Vergessenheit gerathen, wurde sie von Charpentier aufs Neue aufgestellt und von Agassiz wesentlich modificirt. Als er erkannte, daß das Gletschereis von einer zahllosen Menge von Haarspalten durchzogen sei, welche sich leicht mit dem Schmelzwasser anfüllen, wies er diesen die Hauptrolle bei der Ausdehnung des Gletschers zu. Dieselben sollten sich bei Tage mit Wasser anfüllen, das Nachts gefröre und den Gletscher auf diese Weise ausdehnte.

So annehmbar diese Theorie auf den ersten Anblick erscheint, so wenig befriedigend zeigt sie sich bei genauerer Betrachtung zur Erklärung einer ganzen Reihe von Erscheinungen bei der Bewegung der Gletscher. Nach dieser Theorie müßte die Bewegung des Gletschers offenbar am stärksten in der Nacht auftreten und während des Tages immer mehr abnehmen, ja ganz aufhören. Nach den eigenen Versuchen von Agassiz findet ein derartiges Verhältniß der Bewegung entschieden nicht statt. Ebenso müßte sie im kalten Winter ganz aufhören, was aber ebenfalls nicht der Fall ist.

Da die Haarspalten nicht nur senkrecht das Eis durchsetzen, sondern in allen Richtungen, so müßte die Ausdehnung ebenfalls nach allen Seiten erfolgen. Der Gletscher müßte sich daher auch aufblähen und zwar um so stärker, je dicker er ist. Auch davon zeigt die Beobachtung nichts. Wir können demnach die Ausdehnung des Gletschers durch das Gefrieren des Wassers unmöglich als die einzige Ursache der Vorwärtsbewegung derselben ansehen.

Die zweite Abtheilung der Theorien nimmt die Schwere als das Bewegende an. Von Altmann 1751 und Gruner 1760 herbeigezogen, wurde sie von Saussure bestimmter in

der Art als wirkend angenommen, daß durch sie die Gletscher auf ihrer geneigten Unterlage gleiten. Er schreibt dem Abschmelzwasser dabei eine große Wichtigkeit zu. „Beinahe alle Gletscher, heißt es in seinen „Voyages dans les Alpes“, sowohl erster als zweiter Ordnung ruhen auf einem geneigten Boden, und alle etwas bedeutenden haben selbst im Winter unter sich eine Wasserströmung, die zwischen dem Eise und dem dasselbe tragenden Boden fließt. Man begreift so, daß diese Eismassen, von der Neigung des Bodens, auf denen sie ruhen, fortgezogen, abgelöst durch das Wasser von jeder allfälligen Verbindung mit dem Grunde, bisweilen sogar durch dasselbe gehoben, nach und nach gleiten und längs dem Abhange der Thäler oder dem damit überdeckten Joche herabsteigen müssen. Dieses langsame, aber beständige Gleiten ist es, welches die Eismassen in die niedern Gegenden herabführt und in Thälern bestehend erhält, wo große Bäume und selbst reiche Ernten gedeihen können.“

Auch diese Theorie hat mancherlei Modifikationen erfahren und zählt unter den jetzt lebenden Naturforschern, welche sich mit Gletscherstudien beschäftigten, unstreitig die meisten Anhänger. Ehe sie aber zu diesem Vorrange gelangte, mußten manche Thatsachen entdeckt werden, welche das möglich machten. Vor Allem kommen hier gewisse Eigenthümlichkeiten des Gletschereises wie auch gewöhnlichen Eises in Betracht. Dieselben lassen sich kurz in der Weise bezeichnen: 1. das Gletschereis ist nachgiebig und formbar (plastisch) bei Druck, aber spröde und brechend bei Spannung und Zug; 2. Stücke von Eis, wenn sie sich auch nur berühren oder noch so schwach an einander gedrückt werden, gefrieren sofort an den Berührungsstellen zusammen.

Aus diesen Eigenthümlichkeiten ergibt sich nun sofort die Möglichkeit eines Gleitens des Gletschers. Der Druck zwingt sein Eis, sich allen Unebenheiten des Bodens, den

Verengerungen des Bettes ebenso wie den Erweiterungen anzupassen, aber seine Sprödigkeit erzeugt die Spalten, die bei jeder Spannung des Eises sich bemerklich machen. Von einem Gleiten des Gletschers im Ganzen, d. h. von einem Gleiten desselben, wie wenn er eine ungeheuere Eisscholle wäre, kann dabei natürlich nicht mehr die Rede sein. Seine Bewegung muß dann wie diejenige angenommen werden, welche eine zähflüssige Masse, wie Thon, oder Schlamm oder eine Gallerte auf einer geneigten Fläche erkennen läßt. Am schärfsten hat Forbes diese, nach Tyndall wohl zuerst von Bordier aus Genf 1773, später von dem gründlichsten Gletscherkenner Rendu selbständig aufgestellte Meinung ausgesprochen und durch Experimente mit zähen Flüssigkeiten, wie Gemenge von Leim und Gyps, welche er in Rinnen fließen ließ, zu beweisen versucht. Wir werden darauf noch einmal zurückkommen, wenn wir die Strukturverhältnisse der Gletscher zu besprechen haben. Der Ausdruck Plasticität oder Viscosität des Eises ist insofern aber nicht zutreffend, als das Zerbrechen bei Zug allen diesen Massen nicht zukommt, mit denen Forbes experimentirte, und nur dem Eise. Dennoch zwingen uns die Thatsachen der Gletscherbewegung, eine Aehnlichkeit der letzteren mit der jener Substanzen anzunehmen.

Wenn wir nun aber näher die Vorgänge bei einer solchen Bewegung im Gletschereise uns vorstellen wollen, so kommen wir auf eine Reihe von Fragen und Schwierigkeiten, die wir bei dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntnisse von den Gletschern nicht ganz beantworten und nicht beseitigen können. Namentlich die letzteren erschienen Manchen so groß, daß sie jede Gleitungstheorie verwerfen zu müssen glaubten. Wenn es die Schwere ist, welche auf einer geneigten Unterlage die Gletscher zur Bewegung bringt, so muß offenbar ein gewisses Verhältniß zwischen der Masse der Gletscher

und der Neigung ihres Bettes einerseits und der Geschwindigkeit ihrer Bewegung andrerseits stattfinden. Die Beobachtung ergibt aber davon nichts. Die kleinen Gletscher mit den steilsten Neigungen bewegen sich viel langsamer als die größeren mit sehr geringer Neigung. So bewegte sich z. B. der kleine Grünberggletscher auf einem Boden, der eine Neigung von 30—50° besitzt, unter denselben meteorologischen Verhältnissen, wie der große Aargletscher unter ihm, in einem Jahre nach Desor nur 22 m. vorwärts, während dieser auf einer Unterlage mit einer Neigung von 4° im Mittel sich 77 m. vorschob.

Manche Gletscher halten sich auf Wänden von 40 und 50° Neigung, ohne herabzufallen; nur ausnahmsweise werden Stücke von ihnen losgestoßen, die dann wie eine Lawine herabstürzen. An eine Bewegung dieser durch Gleitung auf ihrem Grunde ist deswegen nicht zu denken, weil sie, einmal in Bewegung und über den Boden rutschend, in immer rascheres Gleiten versetzt werden müßten, wovon man ebenfalls nichts bemerkt.

Wie bei einigen Gletschern die überaus große Neigung derselben der Gleitungstheorie ein Hinderniß bereitet, so ist es auf der andern Seite die ganz geringe Neigung der Unterlage, welche bei den größten Gletschern schwer mit derselben in Einklang zu bringen ist. Eine mehr als meilenlange Eismasse auf einer Unterlage von nur 3—4° Neigung über einen unebenen Boden und zwischen zackigen Wänden durch die eigene Schwere allein sich fortschiebend erscheint allerdings schwer begreiflich. Man könnte nun freilich den Druck der höher gelegenen steileren Massen herbeiziehen, welche den Gletscher gleichsam fortschöben, aber auch dieser Ausweg bereitet neue Schwierigkeiten. Betrachten wir zunächst das Verhältniß der geschobenen zur schiebenden Masse, so ist dasselbe

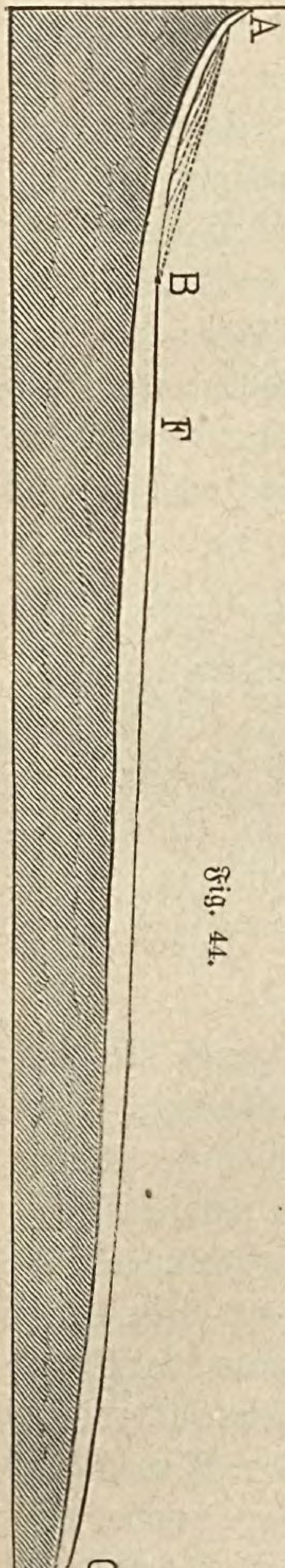


Fig. 44.

nicht geeignet, diesem Druck eine wesentliche Rolle bei der Bewegung zuzuschreiben.

Die nebenstehende Figur gibt z. B. einen Durchschnitt durch die Längsachse des Aletschgletschers. Bei F ist das Ende des Firns. Alle großen Gletscher zeigen eine ähnliche Konfiguration, auf kurze Strecken einen starken Fall und dann eine schwach geneigte Eismasse. Schon Charpentier hat das hervorgehoben, daß eine Schneemasse zwischen A B unmöglich eine Firn- und Eismasse von der Länge B C vorwärts schieben könne. Er hat auch noch ein anderes Bedenken geäußert. Die Massen zwischen A B sind nicht eine zusammenhängende Masse, sondern verhalten sich wie Sand. Sie werden daher nicht gestützt von den Massen bei B, sondern halten sich wie ein Haufen Sand, indem eines auf das andere sich stützt bis zu einem gewissen Winkel. Man denke sich auf einem Brette ein andres gelegt, genau wie es unsre Figur anzeigt, und zwischen A B Sand aufgeschüttet, so wird derselbe keinen Seitendruck ausüben, wie es nöthig wäre, wenn dadurch das Brettchen B C fortgeschoben werden sollte, sondern er wird, wenn die Neigung A B zu steil ist, herabrollen und bei B in der Weise, wie die punktirten Linien anzeigen, sich anhäufen. Der obere Theil des Aargletschers nach der Vereinigung der beiden Arme hat selbst nur eine Neigung von 18 Minuten

und bewegt sich doch fast doppelt so schnell als der weiter unten gelegene, wo die Neigung an der Oberfläche mehr als 4° beträgt.

Das Verhalten der Gletscher im Winter zeigt auch, daß die Schwere allein nicht die gesammte Bewegung bewirken könne. Bei der großen Dicke der Gletscher ist nicht daran zu denken, daß die äußeren Temperaturschwankungen bis auf seinen Grund dringen. Wir müssen auf demselben eine konstante Temperatur sei es von null Grad, sei es etwas darüber annehmen. Die Bewegung auf dem Grunde sollte demnach auch immer gleich sich verhalten. Will man aber dieses annehmen, so muß man eine ungleiche Verschiebung der einzelnen Gletscherschichten über einander in den verschiedenen Jahreszeiten annehmen.

Die Möglichkeit einer solchen ist wohl zuzugestehen, ja die Ungleichheit und der Wechsel in der Schnelligkeit der Bewegung in der Mitte und am Rande, der Oberfläche und der Tiefe nöthigt selbst eine solche herbeizuziehen. Fassen wir alle die Bedenken ins Auge, welche der sog. Gleitungstheorie gegenüber geltend gemacht wurden, wie wir sie im Vorhergehenden erörterten, so wird man sofort bemerken, daß sie alle mehr oder weniger auf die spröde und sehr wenig nachgiebige oder formbare Natur des Eises sich stützen. Sie gehen offenbar alle von der Voraussetzung aus, daß das Eis ein sehr wenig nachgiebiger und plastischer Körper sei. Wie so oft trügt aber auch in diesem Stücke der Schein sehr. Genaue Versuche*) zeigen, daß namentlich bei einer seinem Schmelzpunkte nahen Temperatur das Eis sich ähnlich Wachs verhalte, daß schon ein Druck von 1/30 Atmosphäre, also einem Drucke von 33 Gramm auf einen □Centimeter Eises entsprechend, hinreiche, das Eis in eine andre Form zu bringen,

*) s. Poggendorff's Annalen der Phys. Bd. 155, S. 169.

wenn man denselben nur einige Stunden einwirken läßt. Je mehr aber die Temperatur unter Null sinkt, desto geringer wird diese Beweglichkeit, Plasticität des Eises, desto größer und anhaltender muß der Druck sein, um eine Verschiebung der Eistheilchen über einander zu erzeugen. Halten wir dieses fest, so wird der größte Theil des Befremdlichen, was die Bewegung der Gletscher darbietet, verschwinden. Wir können dann mit vollem Rechte, gestützt auf diese Versuche, sagen, die Bewegung des Gletschers erfolgt nach denselden Gesetzen und in ähnlicher Weise, wie wenn wir eine etwas plastische Masse, wie feuchten Lehm, an die Stelle des Eises uns gesetzt dächten. Bewegung derselben erfolgt dann nur durch die Schwere und ist abhängig von der Dicke der Masse, der Neigung des Grundes und der Form des Bettes. Jeder Theil ist dann zwar beeinflußt von dem Verhalten der vorangehenden, wie der nachfolgenden Massen, aber jeder einzelne Theil drängt durch seine eigene Schwere nach vorwärts, die Bewegung auf einer ganz ebenen Unterlage hat dann eben so wenig befremdliches, als die Erscheinung, daß ein Lehmklumpen, der in Form eines Würfels auf einen Tisch gelegt wird, nach einiger Zeit niedriger und breiter wird. Denken wir uns z. B. Fig. 39 S. 200 statt des Eises eine Lehmmasse von derselben Form, so ist offenbar, daß sich dieselbe von 1—3 langsam, von 3—5 rascher, von 5—B wieder langsamer bewegen wird, wenn die Breite des Bettes dieselbe bleibt. So wird dann die Masse zwischen 3 und 5 auf die zurückbleibende einen Zug ausüben, auf die vor 5 gelegenen dagegen einen Druck, so daß dann auch vertikal nach aufwärts gerichtete Bewegungen des Eises an einzelnen Stellen, wie z. B. bei 5 wohl begreiflich sind, wenn dieselben auch noch nicht sicher beobachtet wurden. Das letztere hat insofern nichts befremdliches, als man auch nicht darauf ausging, sie zu finden.

Auch die Erscheinung, daß die Gletscher im Winter nicht stille stehen, aber sich viel langsamer bewegen, findet in der Thatsache, daß die Plasticität des Eises mit sinkender Temperatur rasch abnimmt, eine sehr einfache Erklärung.

Wenn wir daher die Plasticität des Eises in Verbindung mit der Schwere als vollkommen hinreichend zur Erklärung der Bewegungserscheinungen der Gletscher ansehen dürfen, so soll damit nicht auch ausgesprochen sein, daß nicht manche Vorgänge an ihnen genauere Beobachtung verlangen, ehe wir alle Räthsel für gelöst erklären können. Der Untersuchung steht hier noch immer ein ergiebiges Feld offen, besonders systematischen, gleichzeitig an verschiedenen Stellen angestellten Beobachtungen. Namentlich die inneren Vorgänge im Gletscher, der Mechanismus der Bewegung bedarf noch genauer und sorgfältiger Beobachtungen. Im buchstäblichen Sinne sind die bisherigen nur als oberflächliche zu bezeichnen, womit jedoch das hohe Verdienst und auch die Gründlichkeit derselben nicht im mindesten angefochten werden soll. Zu solchen Untersuchungen drängen vor Allem auch die Erscheinungen, welche man bei manchen Gletschern periodisch wiederkehrend wahrnimmt, nämlich die tumultuarischen Bewegungen, welche von Zeit zu Zeit den stetigen langsamen Fortschritt unterbrechen. Auch die Gletscher haben ihre Revolutionen, die von Zeit zu Zeit wiederkehren, nicht ohne merkliche Mitleidenschaft ihrer Nachbarn aus dem Menschengeschlechte. Eines der bekanntesten und merkwürdigsten Beispiele hiefür liefert der Vernagtgletscher aus der Gruppe der Oetzthaler.

„Die Geschichte des Vernagtgletschers, sagt v. Sonklar*), kennzeichnet diesen als ein Individuum, das unter seines Gleichen eine ziemlich exclusive Stellung einnimmt. Er ist nämlich für gewöhnlich weitaus nicht so lang als gegenwärtig

*) Die Oetzthaler Gebirgsgruppe. 149 ff.

und die Differenzen, die seine Länge zu verschiedenen Zeiten gezeigt hat, sind so bedeutend, daß er bald als ein Gletscher der ersten, bald als einer der zweiten Ordnung klassifizirt werden kann. Steht nun diese Länge in ihrem Minimum, so liegt die Zungenspitze des Gletschers hoch oben im Vernagtthale, etwas unterhalb von Hintergraslen und kann vom Rofenthale aus nicht einmal gesehen werden. Die Entfernung derselben von der Rofenthaler Ache beträgt in solchen Zeiten zwischen 4000 und 5000 F. Nach einer längeren Reihe von Jahren aber beginnt der Gletscher eine Oscillation ungewöhnlicher Art, wobei er mit größerer oder geringerer Schnelligkeit gegen das Rofenthal herabwächst, die gleichnamige Ache in 2 bis 4 Jahren erreicht, einige Zeit darauf seinen Schub nach abwärts einstellt, sofort abschmilzt und nach 25 bis 35 Jahren wieder in seine alten Verhältnisse zurückkehrt. Sechs solcher Oscillationen sind urkundlich nachgewiesen worden und es fallen dieselben in die nachfolgenden Jahre

1.	Anfang	1599	Ende	1601
2.	„	1626	„	unbekannt
3.	„	1677	„	1681
4.	„	1770	„	1772
5.	„	1820	„	1822
6.	„	1843	„	1847

Die erste dieser Zahlen zeigt den Beginn, die zweite das Ende der vorschreitenden Bewegung und Massenvermehrung der Gletscherzunge, nicht aber auch ihre Rückkehr in die vormaligen Grenzen an, welche, wie erwähnt, bei den größeren Ausbrüchen erst in 25 bis 35 Jahren stattfand."

Wissenschaftlich genau beobachtet wurde nur die letzte größere. Zuerst begann der Rofenthalgletscher vorzurücken, dann der Hochvernagt, die beiden bald vereinigten Eisströme erreichten am 1. Juni 1845 die Rofenthaler Ache „unter furchtbarer Zerklüftung, wie sie vielleicht noch nie wahrge-

nommen worden war und unter fortwährendem Getöse, erzeugt durch das unablässige Aufreißen neuer Klüfte und das Zusammenstürzen der in wildester Verwirrung über einander sich aufthürmender Eismassen. Am 14. desselben Monats ergab sich aus unmittelbarer Messung die Breite der Zungenspitze an der Zwergwand mit 1020 F. und ihre Mächtigkeit ober dem Bette der Ache mit 478 F., weiter oben aber, wo das Vernagtthal tief in die Masse des Gebirges einschneidet, wurde die senkrechte Dicke des Eiskörpers mit 960 bis 1020 F. ausgemittelt. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Zungenendes in dieser Oscillationsperiode hat sich wie folgt ergeben:

vom	13. Nov. 1843	bis	18. Juni 1844	per Tag	6,43 F.
„	19. Juni 1844	„	18. Okt. 1844	„ „	3,36 „
„	19. Okt. 1844	„	3. Jan. 1845	„ „	6,55 „
„	4. Jan. 1845	„	18. Mai 1845	„ „	10,45 „
„	20. Mai 1845	„	1. Juni 1845	„ „	37,38 „

Die ganze Länge des von der Eiszunge seit dem Beginne dieser Messungen durchlaufenen Weges beträgt 4212 Fuß (1331 m.) und der Abfallswinkel der Thalsohle schwankt zwischen 12 und 24 Graden.

Durch Annahme von Mittelwerthen für die verschiedenen Abmessungen des Eiskörpers hat Dr. Stotter den körperlichen Inhalt der vom 13. November 1843 bis Mitte Juni 1845 herabgewachsenen Gletschermasse mit nicht weniger als 2222'700,000 Kubikfuß = 70'204300 Kub. Meter berechnet."

Indem nun diese große Eiszunge sich quer über das Rofner-Achenthal hinstreckte, sperrte sie den Abfluß derselben und es bildete sich ein ungeheuerer See, der am 14. Juni 1845 durchbrach und eine furchtbare Verwüstung des ganzen Oetzthales verursachte.

Welche Ursachen diesen gewaltigen Ausbrüchen zu Grunde liegen, läßt sich noch in keiner Weise bestimmen. Keine der bisher aufgestellten Theorien der Gletscherbewegung dürfte

für dieselben hinreichend sein, denn die oben angegebenen Zahlen für die Schnelligkeit der Bewegung, so sehr sie auch alle anderen übertreffen, sind noch nicht die höchsten, welche man an diesem Gletscher beobachtete. An dem letzten Tage, ehe derselbe die Zwergwand erreichte, stieg dieselbe auf 6 Fuß für eine Stunde. Sie war also doppelt so groß als die stärkste an der Mer de Glace beobachtete für 24 Stunden. Daß in diesem Falle eine Verschiebung der Eismassen über einander, ein Anschwellen und seitliches Abfließen derselben statthatte, geht deutlich aus dem Verhalten des Zungenendes

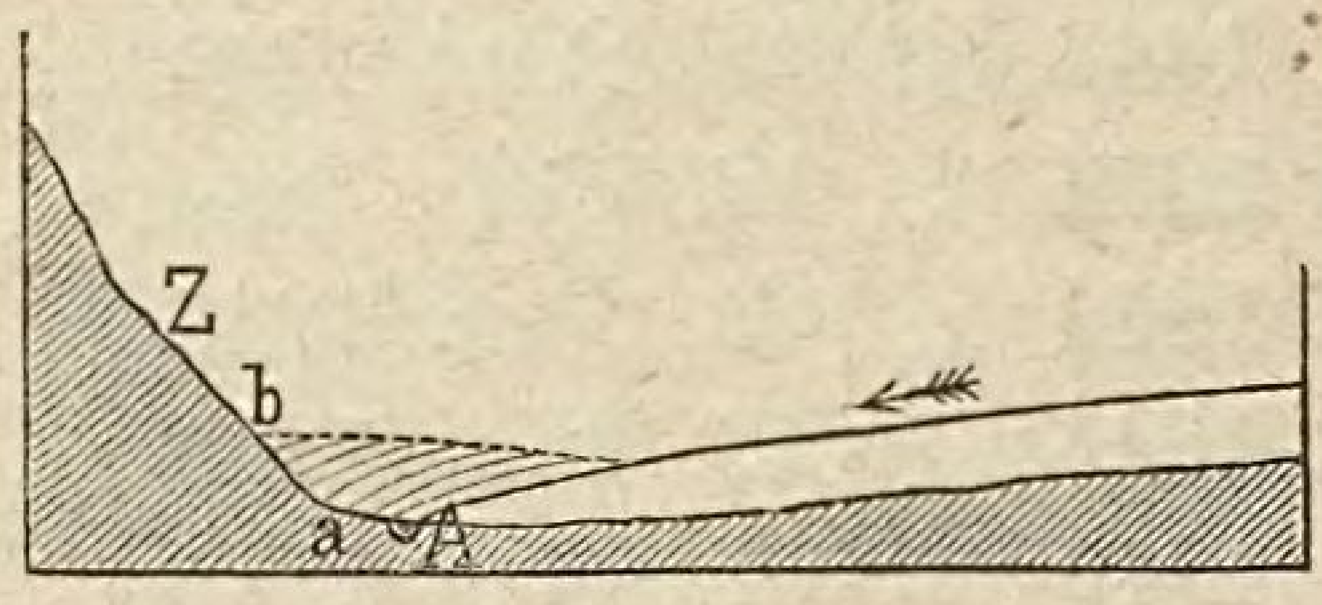


Fig. 45.

hervor. Nachdem es die Zwergwand Z bei a erreicht hatte, schwoll durch die nachrückenden Massen dasselbe so an, daß es bis zum 14. Juni 1845 bis 478 F. über den Spiegel der Ache A sich erhob und sich seitwärts so ausbreitete, daß die Breite 1020 F. betrug. Von da an nahm die Anschwellung fortwährend, wenn auch langsam zu, so daß v. Schlagintweit im Jahre 1847 die Breite der Zunge zu 3152 F. und ihre Dicke zu 500 F. über der Ache fand. Von da an fand eine eben so energische Abnahme des Gletschers statt, so daß v. Sonklar 1857 das Niveau des Gletschers an der Zwergwand bereits um 287 F. tiefer fand, als es 1847 war.

Mit Recht bemerkt v. Sonklar, daß diese enorme Erniedrigung durchaus nicht durch die Abschmelzung allein oder auch nur vorzugsweise erklärt werden könne. Selbst wenn man 12 F. als jährlichen Betrag der Abschmelzung annehmen wolle, blieben immer noch für jedes Jahr 16,7 F.

Erniedrigung übrig. Dieselbe erklärt v. Sonklar durch eine Konsolidirung und Verdichtung des Gletschers. Alle Berichte erwähnen eine ganz furchtbare Zerklüftung des Gletschers, als er an der Zwergwand ankam. Dieselbe war 1857 gering, offenbar hatten sich die einzelnen Eistrümmer einander genähert, wodurch sich das Volumen der Masse verringern mußte.

Wenn wir nun auch derartige unregelmäßige und ungewöhnliche Bewegungen eines Gletschers nicht für geeignet halten, um aus ihnen die Ursachen der regelmäßigen und gewöhnlichen Vorgänge abzuleiten, so können sie auf der andern Seite doch dazu dienen, ein Licht auf manche Vorgänge in den Gletschern zu werfen, die uns außerdem nicht so leicht auffallen würden oder sich bemerklich machten, wie ja krankhafte Zustände des Organismus ebenfalls dazu dienen, die normalen besser zu verstehen. Deswegen dürften genauere Untersuchungen der Vorgänge an einem Gletscher im Zustande solcher paroxystischen Thätigkeit, sowie vor und nach derselben von großer Wichtigkeit sein.

Betrachten wir alle die Einwürfe und Schwierigkeiten, welche der Theorie, nach welcher die Schwere es ist, welche die Gletscherbewegung verursacht, entgegenstehen, so finden wir darin doch keinen, welcher uns zwänge, uns nach einer ganz andern Ursache umzusehen. Dieselben sind alle von der Art, daß sie uns nur dazu bringen können, zuzugestehen, daß die Bewegung der Gletscher nicht allein von der Schwere abhängt, sondern daß noch eine größere Anzahl anderer Einflüsse sich dabei geltend machen, welche theils hemmend, theils befördernd auftreten, wie z. B. Hindernisse des Bodens, meteorologische Verhältnisse, reichliche Durchtränkung des Gletschers mit Wasser, bedeutende Masse desselben u. s. f. Die Gravitationstheorie, wie wir mit einem weiteren Namen die bisher als Gleitungstheorie bezeichnete lieber nennen möchten,

hat wie das Gletschereis Plasticität genug, um alle diese Momente und Einflüsse in sich mit aufzunehmen und jedem sein gebührendes Maaß zuzugestehen, das höchst wahrscheinlich bei jedem Gletscher ein verschiedenes sein dürfte. Jede neue Entdeckung und Thatsache auf dem Gebiete der Gletscherkunde hat sie entweder direkt unterstützt oder sie zu einer kleinen Modifikation veranlaßt, ohne daß sie genöthigt gewesen wäre, ihr Princip aufzugeben. Ob sie durch zukünftige Entdeckungen noch dazu gebracht werden dürfte, läßt sich nach allen bisherigen Wandlungen derselben wohl mit Grund bezweifeln, wenn auch die Unmöglichkeit nicht erwiesen werden kann.

Die Struktur des Gletschers.

Wir haben die Frage, ob der Gletscher eine chaotische Eismasse darstelle, oder ob sich in derselben eine gewisse regelmäßige Anordnung zu erkennen gebe, bis zum Ende aufgehoben, obwohl sie schon bei der Schilderung der äußeren Erscheinung des Gletschers als ein durch die Beobachtung zu ermittelndes Phänomen hätte erwähnt werden sollen. Da aber, wie wir sogleich sehen werden, die Beobachtung nur äußerst unvollkommen uns Aufschluß über diese Frage verschafft, andrerseits bei der Darstellung der Strukturverhältnisse die Ansichten von der Bewegung des Gletschers eine Hauptrolle spielen, beide mit einander in innigstem Zusammenhange stehen, so erscheint es wohl gerechtfertigt und rathsam, erst nach der Darstellung der Bewegungsphänomene der Gletscher die Strukturverhältnisse, die noch zu den dunkelsten Parthien der Gletscherkunde gehören, zu erörtern.

Betrachten wir zuerst den Firn etwas näher, so bemerken wir überall, wo wir tiefere Stellen desselben sehen können, in Schründen und Spalten, daß derselbe aus einzelnen Lagen, förmlichen Schichten besteht, von denen man an dazu günstigen Orten 50—60 über einander zählen kann. Die Dicke einer

solchen Schichte beträgt 2—3 Meter, ihre Sonderung von einander wird theils durch Staub- oder Sandkörnchen sichtbar, theils durch eine Verschiedenheit in der Beschaffenheit der Masse. Die obere Fläche jeder Schichte zeigt sich nämlich etwas vereist. Es ist noch von Niemanden bezweifelt worden, daß jede Schichte dem jährlichen Schneefalle ihren Ursprung verdanke, daß die Staublagen wie die Vereisung in der Sommerzeit sich ausgebildet haben.

Betritt man nun den eigentlichen Gletscher, so beobachtet man von einer horizontalen Absonderung nichts mehr, wohl aber kommen hier andere Eigenthümlichkeiten zum Vorschein, die längere Zeit in ihrer Regelmäßigkeit übersehen, zuerst von Guyot 1838 am Griesgletscher erkannt und bald als eines der merkwürdigsten und konstantesten Gletscherphänomene nachgewiesen wurde.

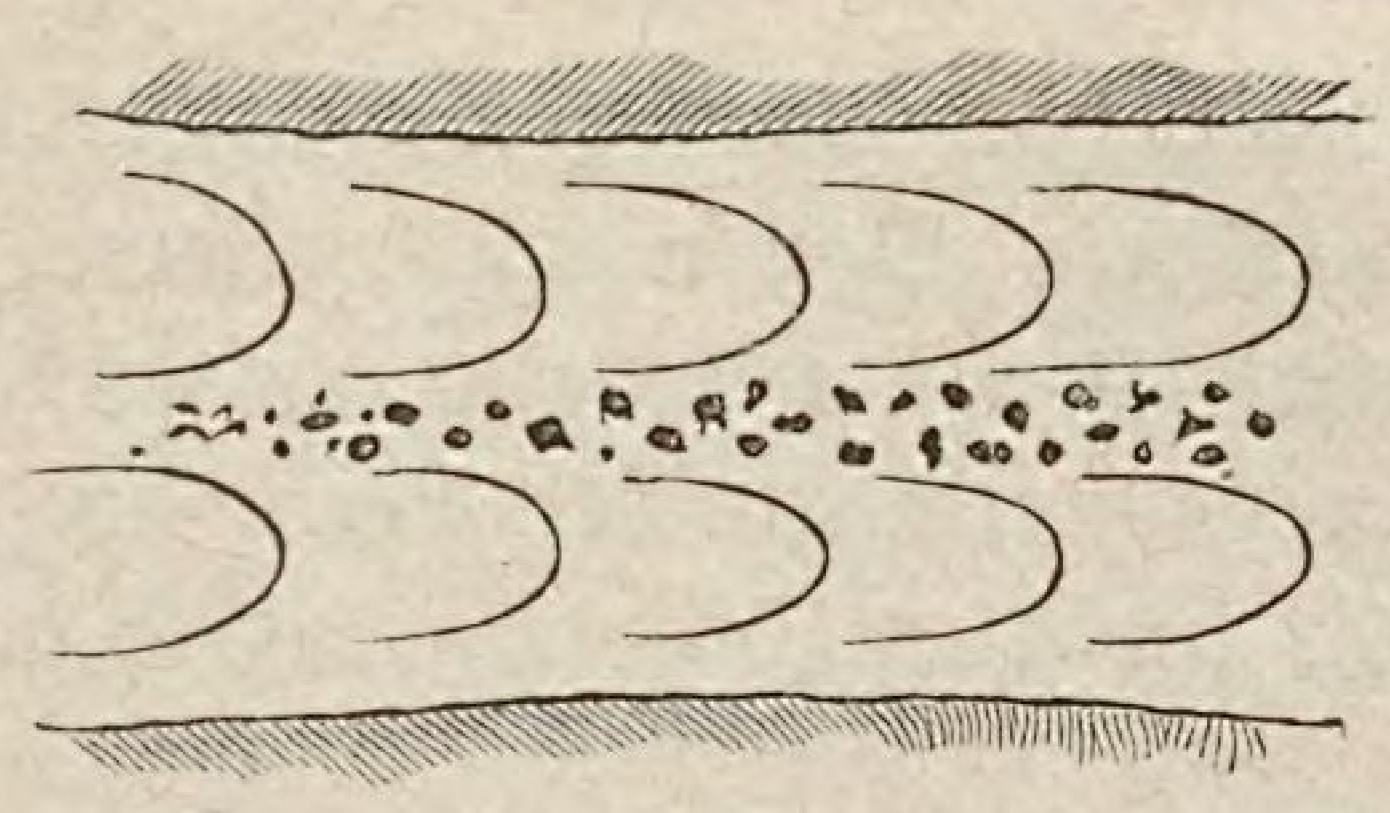


Fig. 46.

Betrachtet man nämlich aus einiger Entfernung von der Höhe herab einen Gletscher, am besten bei Morgen- oder Abendbeleuchtung, so bemerkt man ziemlich regelmäßig von einander entfernte bogenförmig gekrümmte Streifen, deren Spitzen nach abwärts gerichtet sind. Besteht der Gletscher aus einem Arme, so entwickelt sich nur eine solche Kurvenreihe, hat er mehrere, so sieht man mehrere neben einander, die nach unten hin allmälig verschwinden, indem die mächtigeren sich ausbreiten und die schwächeren verdrängen. Man

beobachtet auch, daß die Bögen nach unten hin allmälig spitzer werden, wie es unsere Fig. 46 anzeigt. Agassiz nannte sie Zones d'affleurement, v. Schlagintweit Ogiven. Untersucht man einen solchen Streifen in der Nähe, so sieht man, daß er aus abwechselnden Lagen von porösem, blasigem, weißem Eise und festem blauen Eise besteht. Die leichtere Schmelzbarkeit des ersteren erzeugt Vertiefungen an der Stelle desselben, welche bei schiefer Beleuchtung dunkel erscheinen, auch durch die vom Schmelzwasser eingeschwemmten Sand- und Staubtheilchen gegen das andere Eis abstechen. Forbes hat diese Linien deswegen Schmutzbänder (dirtbands) genannt.

Der Wechsel von Lagen blasigen Eises und blauen Eises ist oft so häufig in einem solchen Bande, daß man an einem Handstücke von einem Fuß Breite wohl ein Dutzendmal den Wechsel beobachten kann.

Das nach unten zunehmende Spitzerwerden des Bogens, die oft an schwächeren Ogiven im weiteren Verlaufe nach dem Ende des Gletschers auftretende zickzackförmige Biegung ist sehr einfach aus der ungleichen Bewegung des Gletschers zu erklären. Wie verhalten sich nun diese Bänder im Innern des Gletschers?

Die Meinungen darüber sind noch ziemlich getheilt, was insofern wohl begreiflich ist, als das Innere des Gletschers uns nur sehr unvollkommen und fragmentarisch, nur in Spalten und Abbrüchen sichtbar wird. Leider kann das Auge auch in diesen nur in geringe Tiefe eindringen, so daß wir auch hier nur oberflächliche Kenntnisse von dem Verlaufe dieser Bänder besitzen.

Uebereinstimmend ergeben jedoch die Beobachtungen folgendes: Betrachtet man die Wand einer Querspalte, so erkennt man hier, daß die Bänder, wie in Fig. 47 steil in die

Tiefe fallen, bald regelmäßig, bald sehr unregelmäßig, nahe am Ufer dem Grunde parallel, weiter entfernt davon steiler.

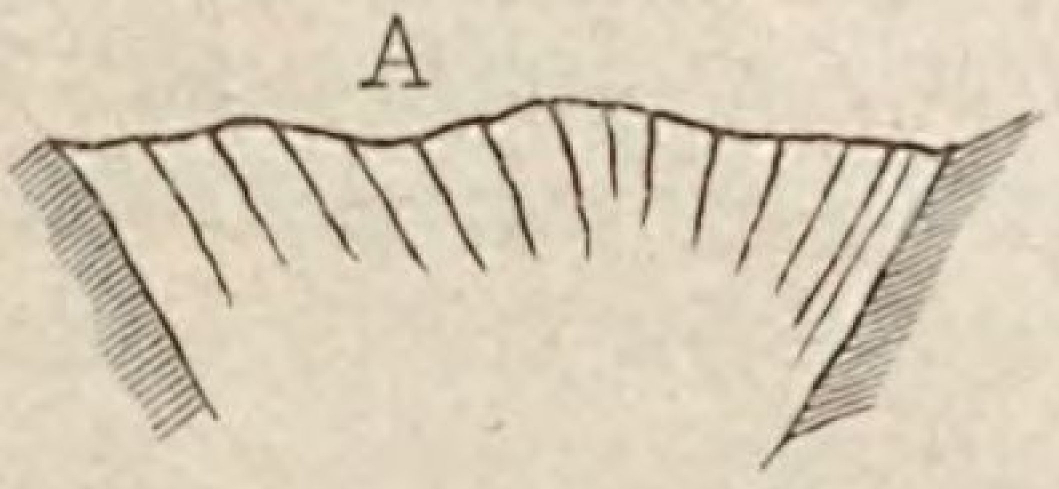


Fig. 47.

Nach den Untersuchungen von Agassiz am Aargletscher zeigt ein Längsschnitt folgende Verhältnisse:

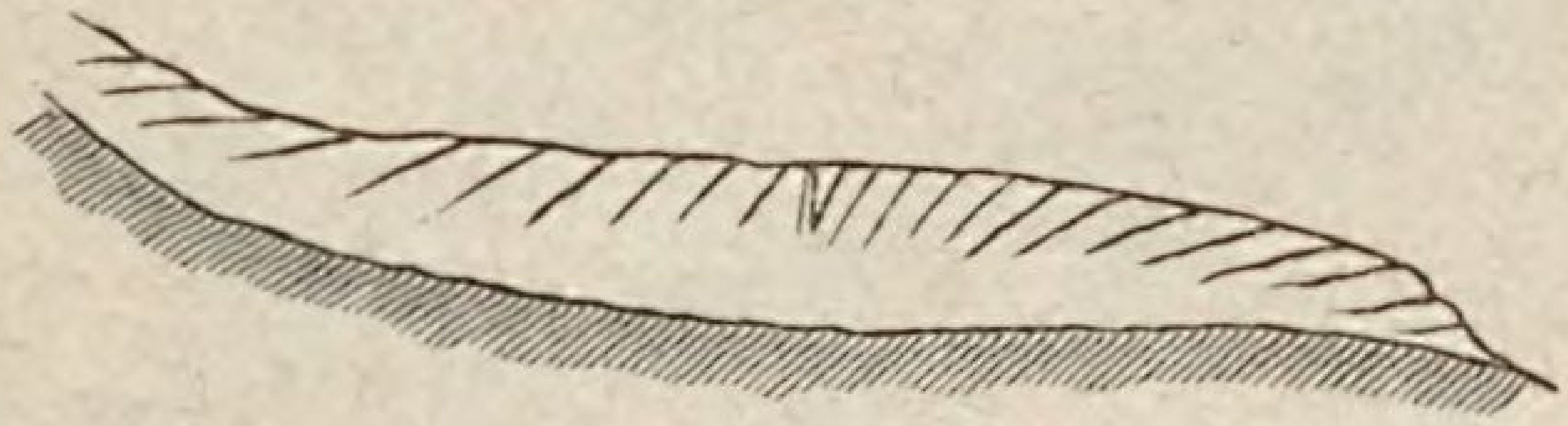


Fig. 48.

Am unteren Ende liegen die Schichten fast vollständig horizontal, von da aufwärts stellen sie sich immer steiler, bis senkrecht, dann zeigen sie sich wieder geneigt, so daß sie nahe am Abschwung bei der Vereinigung beider Arme des Aargletschers wieder Winkel von 60° mit den Horizonte bilden. Noch weiter aufwärts auf dem Lauteraargletscher kommen dann wieder Neigungen von 5° vor.

Nach anderen Beobachtungen an anderen Gletschern verhält sich aber die Neigung der Schichten anders. Nach den Untersuchungen von v. Schlagintweit zeigt der Längsschnitt der Pasterze folgende Gestalt, d. h. die Neigung der Schichten

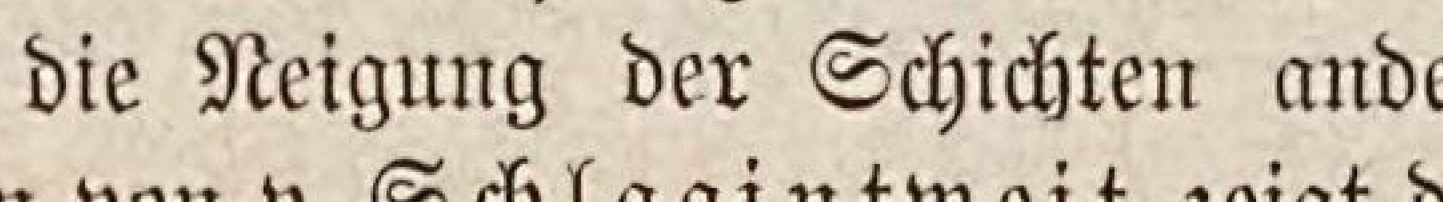


Fig. 49.

nimmt von unten nach oben beständig zu und ist gerade in der Firnregion senkrecht.

Forbes leugnet ebenfalls die von Agassiz angegebenen Neigungsverhältnisse der Schichtenstellung. Nach ihm hat der Gletscher eine schalige Struktur in Folge seiner Bewegung und zwar so, wie es der hier aus Forbes' Travels through the Alps of Savoy etc. p. 373 entlehnte Holzschnitt darstellt.

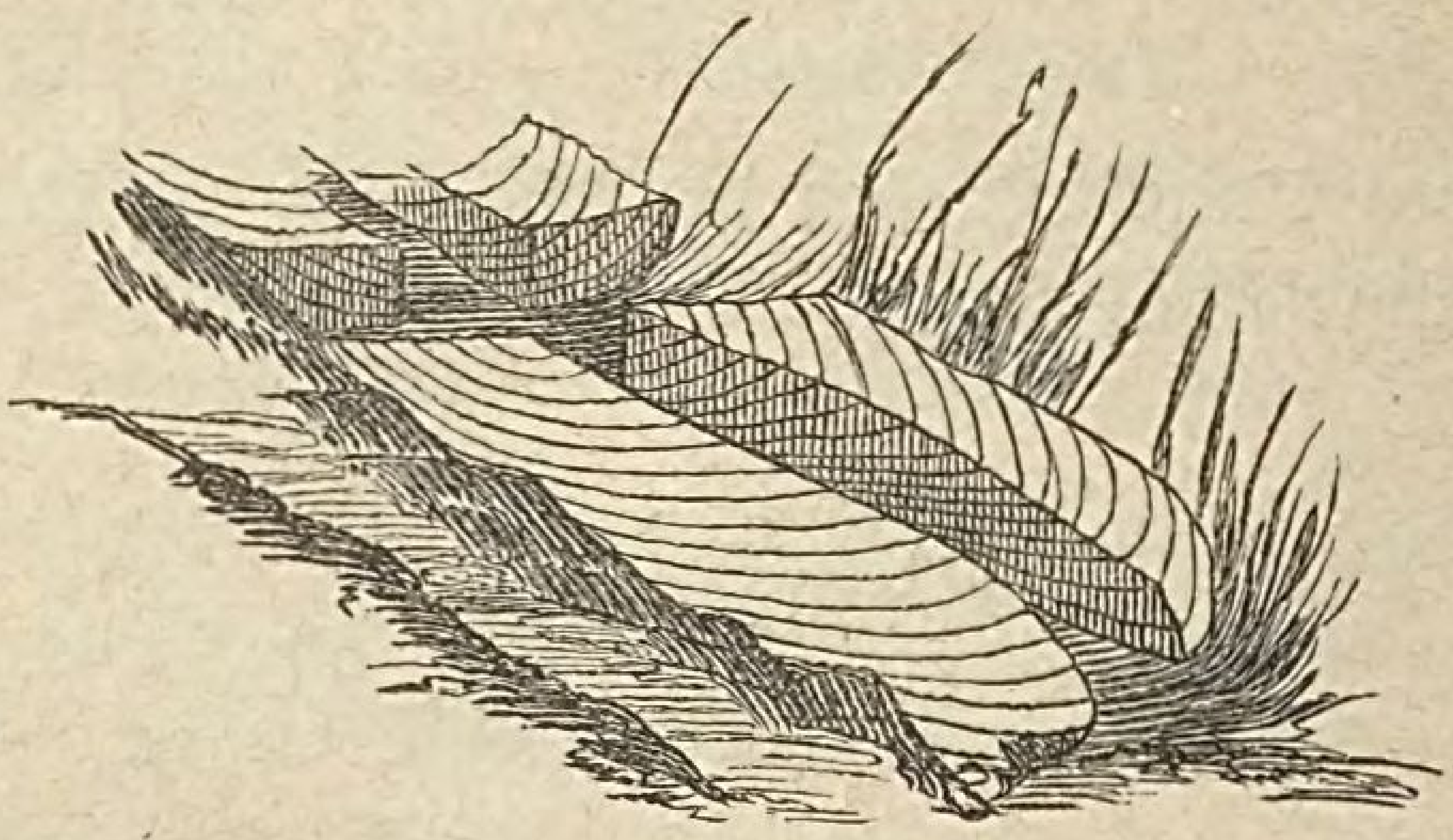


Fig. 50.

Danach besteht der Gletscher aus lauter löffelförmig geformten Schalen.

Eine ähnliche Ansicht über die Lage der Schichten hat v. Sonklar, wenn er schon in theoretischer Deutung derselben in vollständigem Widerspruch mit Forbes steht. Nach ihm biegen sich nämlich die Schichten ebenfalls in der Tiefe um und gehen dann dem Grunde des Gletschers nahezu parallel, so daß auf dem Längsschnitte der Gletscher folgende Gestalt hätte.

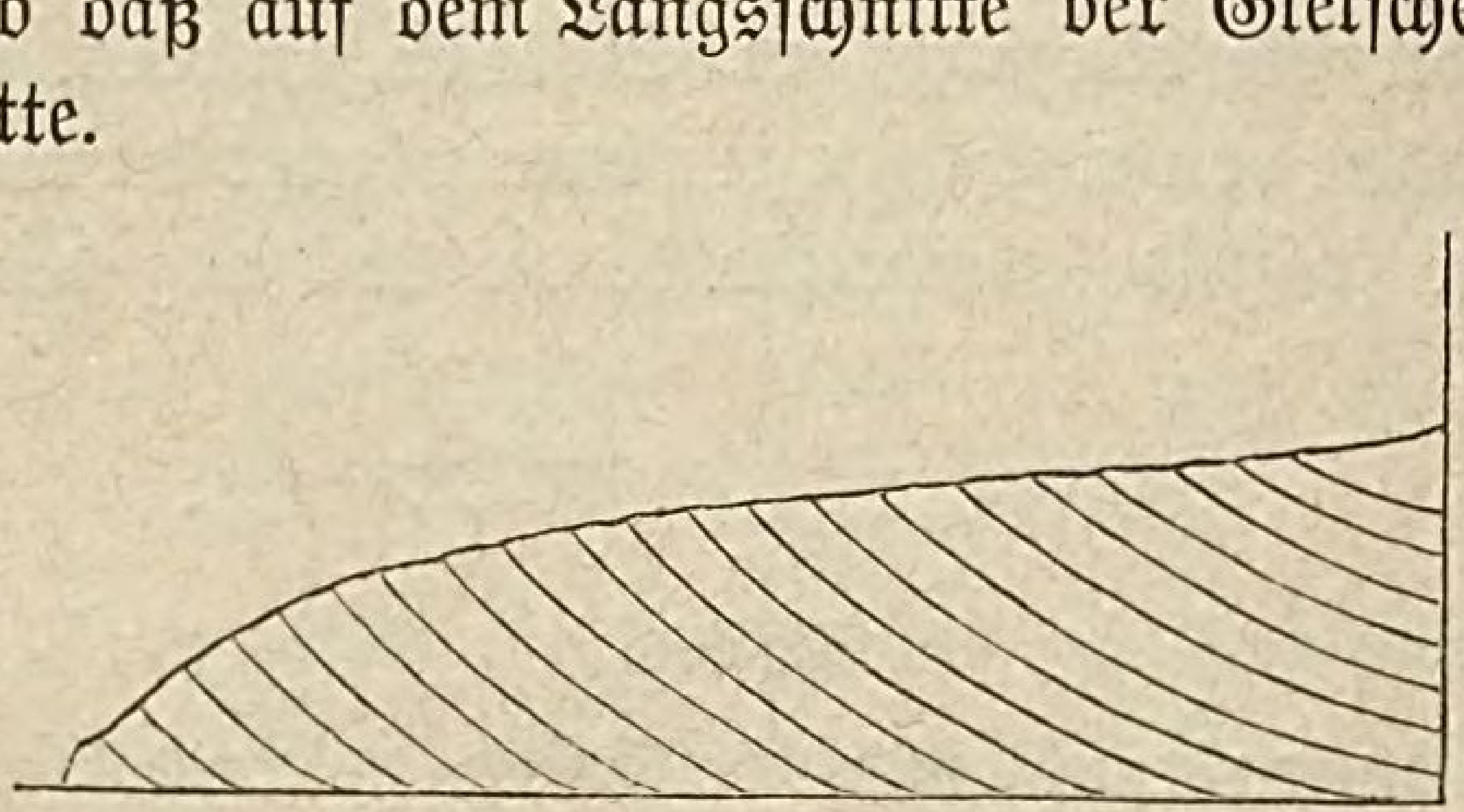


Fig. 51.

Vergleichen wir diese verschiedenen Figuren, so sehen wir, daß dieselben ziemlich wohl übereinstimmen, so wie wir das rein hypothetische und theoretische von dem wirklich beobachteten sondern. Weder Forbes noch v. Sonklar können den Verlauf der Schichtenflächen in der Tiefe nachweisen, der letztere konnte nur eine Umbiegung, d. h. eine Abnahme der Neigung in der Tiefe erkennen, und die von Forbes nur die beobachteten Neigungsverhältnisse darstellenden frühern Figuren seines Werkes stimmen ganz gut mit denen der übrigen Beobachter. Der einzige Punkt, wo eine Verschiedenheit der Beobachtungen sich ergibt, ist die Art der Neigungsveränderung an verschiedenen Stellen des Gletschers, wie sie Agassiz und Schlagintweit gesehen haben. Wir haben keinen Grund, weder die eine noch die andere Beobachtung in Zweifel zu ziehen, am wenigsten aus rein theoretischen Gründen, wie es Forbes gethan, sondern müssen beide Beobachtungen als richtig gelten lassen.

Wie entsteht nun diese eigenthümliche Struktur und Schichtung, dieser Wechsel von kompaktem blauen Eise mit porösem blasigen?

Auch hier finden wir verschiedene Ansichten ausgesprochen, die aber ebenfalls in 2 Abtheilungen sich bringen lassen.

Nach den einen ist die Schichtung des Gletscherstammes Folge und Fortsetzung der Schichtung des Firnes. (Agassiz, v. Sonklar.)

Nach der andern hat die Schichtung des Gletschers gar nichts mit der des Firnes zu thun und entsteht erst weiter unten in Folge der Bewegung des Gletschers. (Forbes, v. Schlagintweit und Tyndall.)

Die letztere Ansicht stützt sich auf mehrere Beobachtungen in der Firnregion selbst. Forbes sowohl wie v. Schlagint- und Tyndall haben gezeigt, daß an einzelnen Gletschern

unter dem horizontal gelagerten Firne vertikale quergestellte Eisblätter vorhanden sind. Ein weiterer Umstand, welcher für die Unabhängigkeit beider Strukturarten von einander spricht, ist die Beobachtung, die man am Fuße von Gletscherstürzen machen kann. Das Eis, welches hier herabstürzt, wird oft zur Feinheit der Firnkörner zermalmt, aber eine kurze Strecke unter dem Fall tritt von Neuem die Bänderstruktur auf. Wodurch wird sie hier erzeugt? Forbes hat dieselben dadurch zu erklären versucht, daß er in Folge der ungleichen Geschwindigkeit eine Spannung des Eises und in Folge dessen ein Reißen desselben annahm. Die so gebildeten Risse sollen sich mit Wasser füllen, welches gefriert und dabei kompaktes, blaues Eis bildet. Die später noch zu besprechende Thatsache, daß die Spaltung des Gletschers und die Blätterstellung meistens gerade senkrecht auf einander stehen, reicht allein hin, diese Theorie zu verwerfen. Tyndall nimmt deswegen an, daß die Bildung des Blättergefüges eine Folge des Druckes sei, welcher die ungleiche Bewegung des Gletschers begleitet. Der Druck blättert das Eis und die Blätter stehen senkrecht auf der Richtung, in welcher der Druck wirkte. Durch Pressen von klaren Eisstücken erhielt Tyndall ganz deutlich blättriges, zum Theil undurchsichtiges Eis. Die Blätter standen senkrecht auf der Druckrichtung. Dieselben zeigen sich daher sehr schön an Gletscherstellen, wo die Neigung kurz vorher eine sehr starke, die Bewegung eine sehr rasche war, die nachdrängenden Massen daher auf die vorderen stark drücken.

Wir müssen daraus allerdings den Schluß ziehen, daß unter gewissen Umständen Druck allein eine vorher strukturlose und in kleinen Fragmenten vorhandene Eismasse in blättrige Struktur zeigendes, kompaktes Eis verwandeln kann, aber das können wir doch nicht ohne Weiteres daraus schließen, daß die Blätterstruktur des ganzen Gletschers aus-

nahmslos auf den Druck allein zurückzuführen sei. Wir müßten dann an jeder Stelle des Gletschers, wo sich die Bewegung verlangsamt, ein neues Bändersystem wahrnehmen, welches anfangs geradlinig über den Gletscher hinläuft, senkrecht zu seiner Längsachse, und das sich allmälig in ein gekrümmtes umwandelt. Da aber die alten noch fortbestehen, so müßten höchst auffallende Durchkreuzungen und Formverschiedenheiten im Laufe der alten und neu entstandenen sich zeigen; der Gletscher müßte sehr verschieden gekrümmte Ogiven an seiner Oberfläche zeigen.

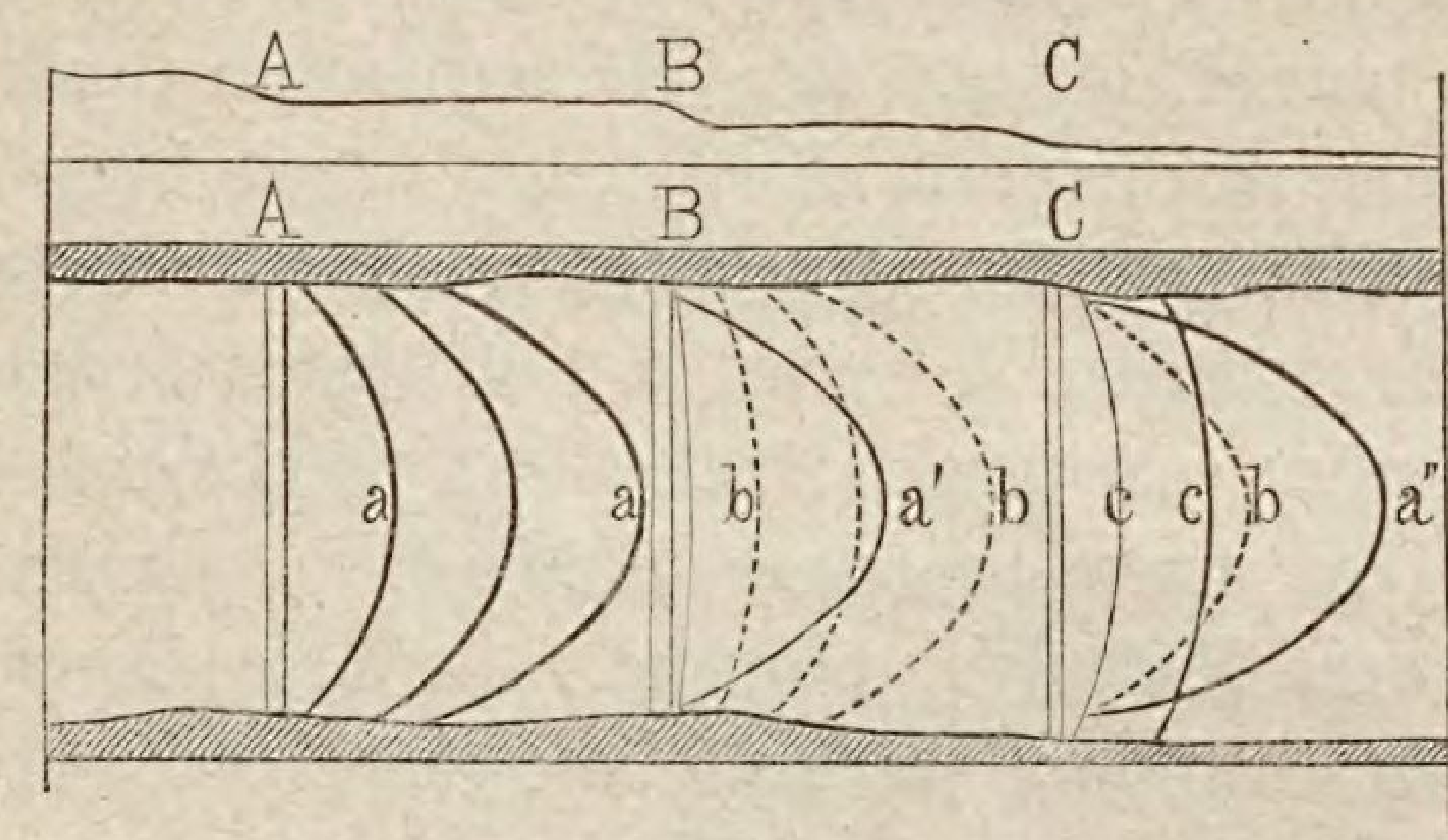


Fig. 52.

Denken wir uns nämlich bei A, B und C Stellen des Gletschers, wo das Gefälle wechselt, die Gletscherfläche auf dem Längsdurchschnitte die durch die obere Linie A, B, C veranschaulichte Gestalt hat, so wird offenbar bei A, bei B und bei C Veranlassung zu einem stärkeren Druck und zur Blätterung gegeben sein, auf dem Wege von A nach B haben die Bänder, welche sich in A bildeten, die Gestalt des Bogens a angenommen, die zwischen B und C zur Form a' wird. In B müssen sich aber nach jener Theorie in Folge des Druckes der rascher durch die Linie B sich drängenden Massen neue Blätter ausbilden, die anfangs nicht gekrümmt sein können, und ebenfalls allmälig eine solche erhalten. In diesem Falle

würden dann unterhalb B sehr wenig gekrümmte Bänder b mit stärker gekrümmten a' sich zeigen müssen. Unterhalb C würden die Bänder, welche bei A sich gebildet, die Form a" zeigen, die bei B neu entstandenen die Form b', während die neu bei C gebildeten wieder nahezu geradlinig sich zeigen müßten.

Etwas derartiges ist aber noch nirgends beobachtet worden. Sehen wir alle Darstellungen und Schilderungen an, welche uns von den Bändern und deren Verlauf auf den verschiedensten Gletschern gemacht worden sind, so sehen wir von der Firnregion an immer stärker und stärker gekrümmte Bänder auftreten, aber nirgends dieselben von schwach gekrümmten durchschnitten. Die Bänderstruktur auch zwischen den Ogiven, wo sie dem Auge am bemerklichsten nur aus der Ferne sich darstellt, zeigt sich danach als etwas bleibendes, aus den obersten Regionen des Gletschers herstammendes, nicht an allen möglichen Stellen des Gletschers erzeugtes. Agassiz hat einen besondern Abschnitt in seinem Système glaciaire dem Nachweise gewidmet, daß die Schichten durch den ganzen Gletscher hindurch sich gleich bleiben (von den schon erwähnten durch die Bewegung erzeugten Formveränderungen abgesehen), daß sie, wie er sich ausdrückt, in allen Parthien des Gletschers identisch sind. Seinen Beobachtungen ist nicht widersprochen worden.

Auf ein anderes Verhältniß hat v. Sonklar aufmerksam gemacht, welches für die Annahme sprechen soll, daß sich die Schichtung des Firnes durch den Gletscher hindurch fortsetze, nämlich die Art und Weise der Vertheilung der auf den Firn herabgerollten Gesteinsfragmente im Eise. Denken wir uns einen Durchschnitt durch die Firnregion des Gletschers, so bietet er folgende Verhältnisse dar. Nahe dem Ufer sind in der geschichteten Firn-

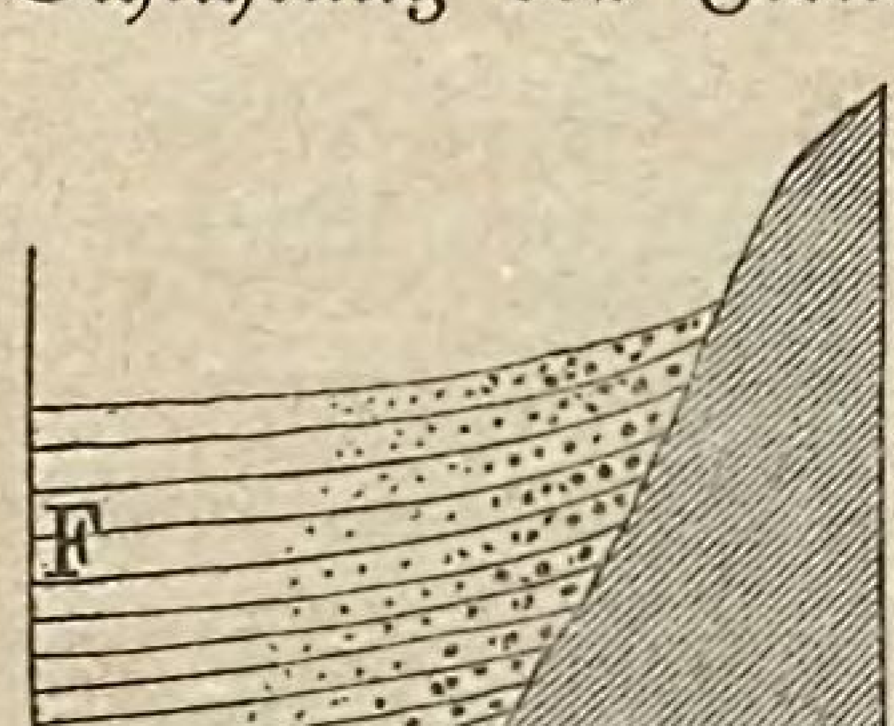


Fig. 53.

masse F die Fragmente sehr zahlreich eingebettet, aber allmälig nimmt ihre Menge mit der Entfernung vom Uferrande ab. Unten im Gletscher zeigt sich folgende Anordnung der Schichten auf dem Querschnitte. Sind nun die gebogenen Schichten noch

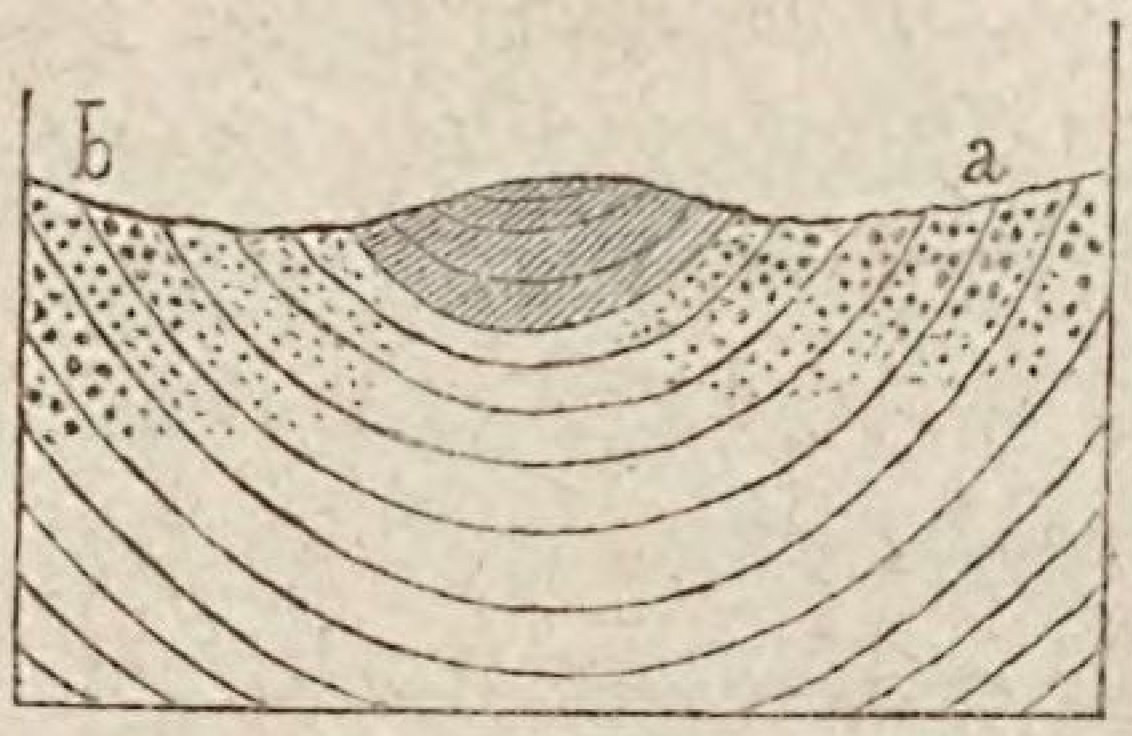


Fig. 54.

die Schichten des Firn, nur aufgerichtet durch die Einengung, die sie in dem der Firnmulde gegenüber sehr engen Gletscherbett erfahren haben, so wird die Vertheilung der Trümmer sich so verhalten müssen, wie es die rechte Seite der Figur 54 bei a erkennen läßt, d. h. die Trümmer werden sich in die Tiefe ziemlich hinab erstrecken und allmälig verlieren, gegen die Mitte des Gletschers zu werden sie aber *scharf* absetzen. Denken wir uns aber, daß die Masse sich vorwärts bewegt habe ohne eine Erhaltung der Schichtung, daß die Fragmente demnach an der Oberfläche blieben, ihre Lage im Großen und Ganzen nicht veränderten und die Schichtung nur in Folge von seitlichem Druck eingetreten sei, so werden sie eine Lage wie auf der linken Seite erkennen lassen müssen, d. h. stets vom Ufer an gegen die Mitte zu an Zahl abnehmend, nach der Tiefe aber gleich an Zahl bleiben; eine scharfe Grenze zwischen dem Fragmente enthaltenden Theile des Eises und dem von solchen freien zwischen Mitte und Ufer dürfte sich dann nicht finden. Die Beobachtung zeigt aber ein Verhalten der Blöcke ähnlich wie bei a, nicht wie bei b. Demnach müßten wir in einem solchen Falle die

Schichtung als eine ursprüngliche, aus der Firnregion mitgebracht, nicht später erworbene ansehen.

Hier ist nur der eine Umstand nicht erklärt, der die ganze Beweisführung zweifelhaft macht, nämlich der, woher die in unserer Figur 54 schattirten blockfreien Eismassen, welche die Schichten a, b, c in der Mitte überlagern, kommen. Eine muldenförmige Aufbiegung der Schichten unserer Fig. 54 würde die an der Oberfläche der Firnschichten liegenden Fragmente nicht dem Auge entziehen. Die ganze Darstellung von Sonklar's, soweit sie die Bedeckung und scharfe Abgrenzung der Blöcke nach innen zu betrifft, setzt eine Ueberlagerung der Firnschichten durch andere (die schattirten in der Figur) voraus; woher die kommen soll, ist nicht ersichtlich.

Tyndall führt die Bänderung lediglich auf den Druck zurück. Er führt als Beweis dafür an, daß dieselbe an den Rändern besonders stark entwickelt sei und daß sie hier rechtwinklig zu den Spalten stehe. Ihre Entstehung wird hier auf dieselbe Ursache zurückgeführt, welche auch die Spaltung erzeugt. Die ungleiche Geschwindigkeit der einzelnen Gletschertheile in dem vorliegenden Falle, die Abnahme derselben vom Rande gegen die Mitte erzeugt nämlich nicht nur eine Spannung in der einen Richtung, welche die Spaltung hervorbringt, sondern auch einen Druck in einer darauf senkrechten, welche Blätterung hervorruft. Warum dies eintritt, wird die nebenstehende Figur zeigen. Es stelle A eine Randpartie eines Gletschers vor, der sich von A nach B bewegt. Denken wir nun, wir hätten bei A auf

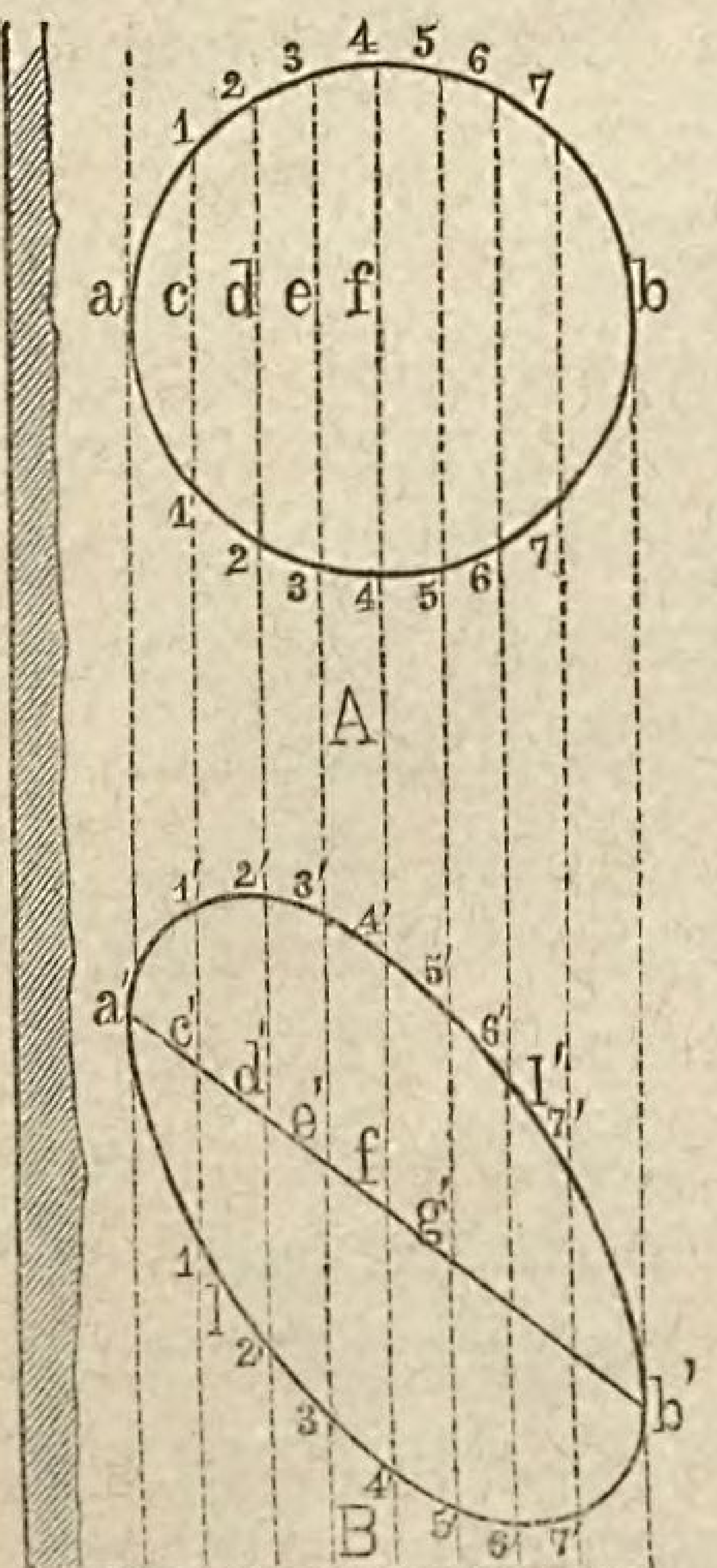


Fig. 55.

dem Eise einen Kreis gezeichnet von dem Durchmesser a b. Wenn nun der Punkt b nach b′ gelangt ist, wird a in a′ angelangt sein, der Durchmesser a b die Lage a′ b′ angenommen haben. Welche Figur wird nun der Kreis angenommen haben? Ziehen wir gerade Linien 1, 2, 3, 4, 5 einander parallel, so dürfen wir nur von den Durchschnittspunkten der Linien 1, 2, 3 u. s. f. mit der Linie a′ b′ Stücke auf diesen Linien nach oben und unten abschneiden, welche den Entfernungen des Kreisumfanges auf denselben Linien von dem Kreisdurchmesser a b gleich sind, also 1 c = 1′ c′, 2 d = 2 d′ machen u. s. f., um die Form zu erhalten, welche der Kreis in B angenommen haben muß. Man sieht, er ist in der Richtung a′ b′ stark in die Länge gezogen, zugleich aber auch in der darauf senkrechten, der kurzen Achse 1 1′ der Ellipse zusammengepreßt, denn diese ist, wie schon der Augenschein lehrt, kürzer als der Durchmesser des Kreises a b. Die Bänder werden daher in der Richtung a b senkrecht zu der Richtung des Druckes verlaufen müssen.

Was diese Erklärung der Randstruktur besonders noch empfiehlt, ist der Umstand, daß sie die an vielen Stellen des Gletschers vorhandene Verbindung von Spalten und Blätterung sehr einfach erklärt und beide Erscheinungen auf eine Ursache zurückführt. Außerdem findet sie auch noch eine Bestätigung durch das Experiment, wie schon erwähnt wurde. Indem Tyndall zwischen Holzplatten klares Eis stark preßte, erhielt er eine deutliche Blätterung derselben, wobei es theilweise undurchsichtig wurde.

Ueberblicken wir noch einmal die über die Bänderstruktur des Eises bekannt gewordenen Thatsachen und Meinungen, so erhalten wir gewiß den Eindruck, daß die Akten darüber noch nicht geschlossen und spruchreif sind. Es bedarf wohl noch länger fortgesetzter Beobachtungen an den Gletschern, wo und wie sich diese Bänder bilden, ehe man ein sicheres

Urtheil darüber wird abgeben können, ob sie nur Folge des Druckes sind, überall sich bilden können, oder ob ihre Bildung an gewisse Stellen gebunden und irgendwie doch mit der Schichtung des Firnes zusammenhänge. Immerhin ist noch möglich, daß beide Arten der Entstehung neben einander hergehen und daß auf dem einen Gletscher bald die eine, bald die andere Ursache sich häufiger wirksam erweise.

Offenbar hängt die Frage nach der Struktur des Gletschers ebenso wie die nach den Ursachen der Bewegung der Gletscher sehr innig zusammen mit einer anderen, welche aber merkwürdiger Weise unseres Wissens noch gar nie näher erörtert wurde, nämlich mit der Frage nach der Entstehung der Gletscher, der wir wenigstens einige Worte widmen wollen, sei es auch nur, um die Wichtigkeit derselben zu zeigen.

Die Entstehung der Gletscher.

Ziehen wir die Geologie zu Rathe, so belehrt uns dieselbe, daß die Gletscher einer verhältnißmäßig neuen Zeit angehören und in den Alpen wenigstens nicht weit in die Vorzeit zurückreichen. Gegenwärtig sehen wir sie als ein Erzeugniß der Vergangenheit vor uns; es bilden sich keine neuen großen Gletscher. Wie sind sie nun zuerst entstanden? Welche Vorgänge haben dabei stattgefunden?

Denken wir uns ein gletscherfreies Thal in der früheren Tertiärzeit, das bis zu einem höheren Gipfel hinauf sich erstreckte. Wir dürfen annehmen, daß es damals auch schon geschneit habe und auf den höchsten Bergen der Schnee schon liegen geblieben sei. Um nun das Entstehen eines Gletschers zu begreifen, müssen wir annehmen, daß die klimatischen und meteorologischen Verhältnisse der Alpen sich änderten und zwar der Art, daß die Menge der Niederschläge immer bedeutender wurde, die mittlere Temperatur auch geringer, und

daß in Folge dessen auch die Schneegrenze sich immer weiter herab erstreckte. Von der Schneelinie an nach aufwärts mußten sich dann Lagen von Schnee bilden, die nach oben hin dicker wurden, weil die Abschmelzung nahe der Schneegrenze schon bedeutend die jährliche Schneemenge reducirte. So wird der Durchschnitt einer Firnmulde nach und nach folgende Gestalt gewonnen haben.

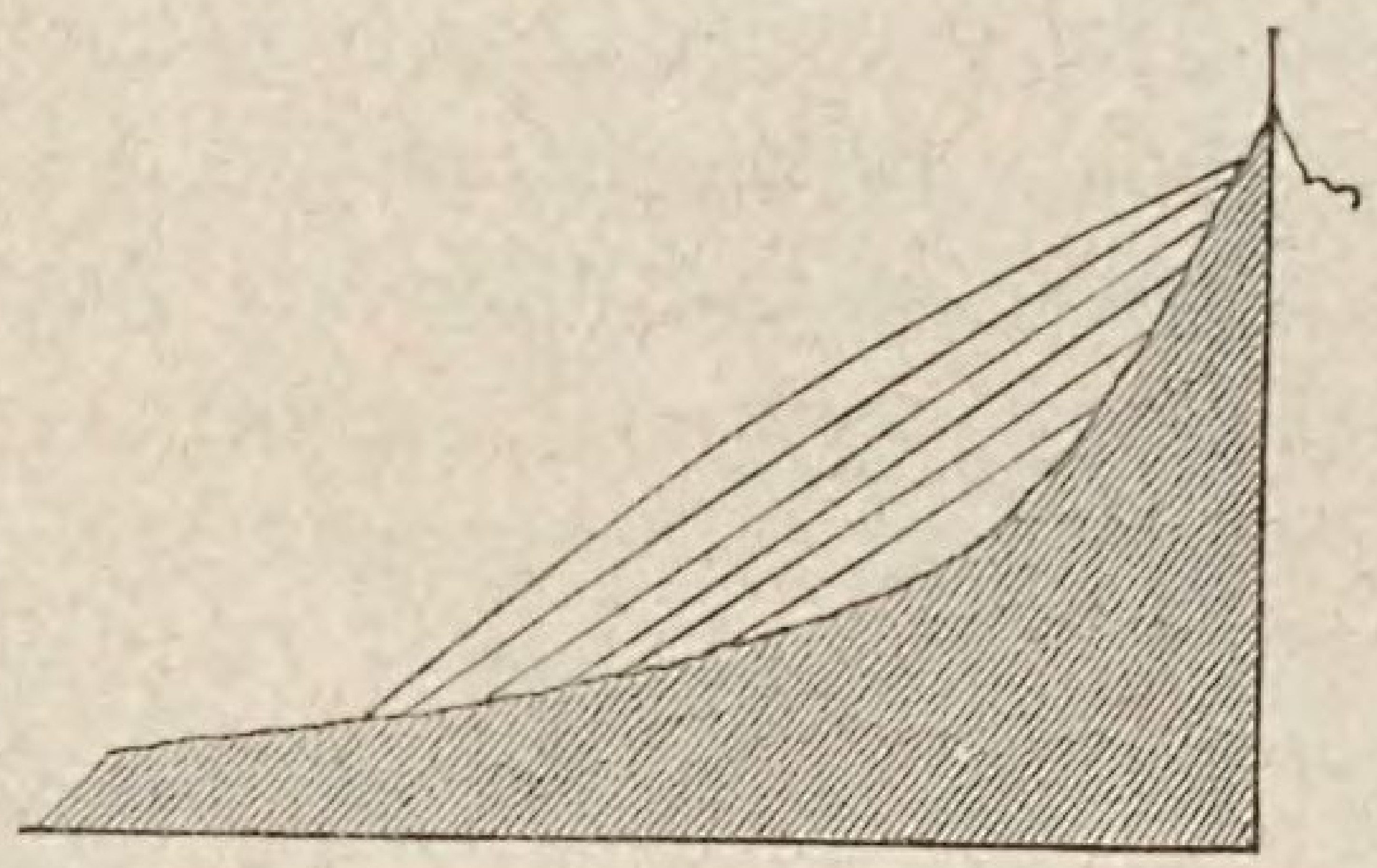


Fig. 56.

Wegen der größeren Steilheit wird auch oben die Dicke der Schneelagen eine dünnere gewesen sein. Durch zweierlei Ursachen wird es nun zum Verschieben dieser Masse unter die Schneeregion und zum Anfang einer Gletscherbildung gekommen sein. Einmal wird der in der Mitte der Mulde sich immer höher steigernde Druck auf die unteren Schichten, die unter dem Einflusse der oben im Sommer stattfindenden Schmelzung sich in Firn und Eis umwandelten, dieselben vorwärts gepreßt haben, dann wird aber auch durch die ungleiche Anhäufung die Neigung der Firnmulde immer steiler geworden sein, was ein Abrutschen der obersten Lagen veranlassen muß. Wir hätten demnach den ersten Anfang eines Gletschers unter der Firn- oder Schneelinie aus zwei Theilen bestehend anzunehmen,

1. aus einem tieferen kompakteren, aus den tiefsten Lagen der Firnmulden gebildet und

2. aus einem weniger kompakten, durch herabgleitende oberflächliche Firnlager erzeugt.

Wie verhält sich nun die Masse der langen Eisströme hinsichtlich ihrer Entstehung aus diesen beiden Theilen?

Bei näherer Erwägung der Verhältnisse werden wir zu der Ueberzeugung gelangen, daß sie nur aus dem ersten Theile bestehen, d. h. daß der eigentliche Gletscherstamm aus den tieferen Lagen der Firnmulden entsteht, daß diese unter den oberflächlichen gleichsam hervorquellen und so den Eisstrom bilden, daß demnach auch die tiefsten Eismassen des Gletschers auf seinem Grunde einmal die Oberfläche des Firnes bildeten.

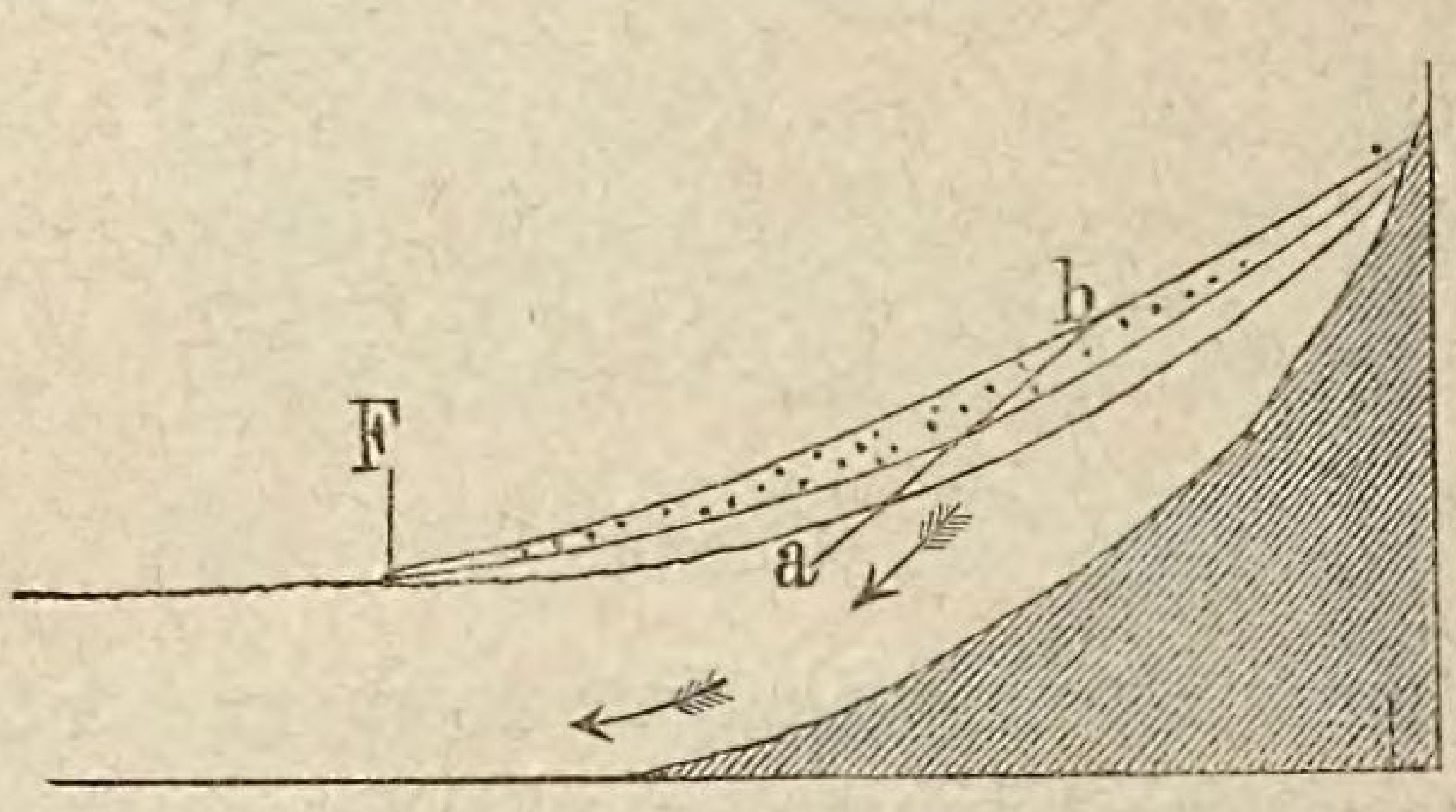


Fig. 57.

Stellt nämlich F in obenstehender Figur die Firngrenze dar, so ist offenbar, daß alle oberhalb F fallenden Schneemassen liegen bleiben, dagegen alle unterhalb F den Gletscher treffenden wegschmelzen. Mit andern Worten F ist diejenige Grenze, unter welche die jetzt jährlich fallenden Schneemengen nicht herabgelangen können. Daraus geht mit Nothwendigkeit hervor, daß das tiefer gefundene Eis einen andern Ursprung haben müsse als in den oberflächlichen Firnschichten, die nicht unter F herabkommen können. Die Firnlagen ober F schmelzen aber nicht, jedes Jahr wird eine neue auf die vorhergehende aufgelagert und dennoch nimmt die Höhe der Firnmulden nicht wahrnehmbar zu. Und warum nicht? Weil sie sich in der Tiefe unter den oberflächlichen Schichten

hinabschieben und so den Gletscher bilden. Wie bedeutend dieses Zusammensinken nach der Tiefe und Ausstrecken als Gletscher in die Länge sein muß, wenn diese Gleichheit des Niveaus der Firnmulde erhalten bleiben soll, das geht aus einer einfachen Berechnung der Menge der Niederschläge in derselben und dem Verhältnisse ihres Flächeninhalts zu dem des Gletschers hervor. Nach den Beobachtungen über den Schneefall auf dem St. Bernhard, dessen Höhe der mancher Firnmulden gleich ist, beträgt der jährliche Schneefall 15 m. Wenn nun auch die Abschmelzung und Verdichtung durch Druck jede Schichte auf 2—3 m. Dicke reducirt, so müßte im Verlauf von 100 Jahren die Höhe der Firnmulden um 200 bis 300 m., im Verlauf von 500 Jahren um 1000—1500 m. oder 3000—4500 F. zunehmen. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß nirgends eine dauernde Erhöhung einer solchen Mulde wahrgenommen worden ist. Soll daher das Verhältniß der Höhe der Firnmulden gleich bleiben, so muß jedes Jahr eine dem Schneefalle entsprechende Menge Eis von dem Boden der Mulde aus thalabwärts fließen. Je größer die Firnmulde und je bedeutender die Niederschläge in derselben, desto mehr wird auch Eis zu dem Gletscher geliefert. Weil es aber nicht die oberflächlichen Schichten des letzten Jahres sind, welche in dem Gletscher abfließen, sondern ältere, und weil die Menge der Niederschläge und des Abschmelzens mit den Jahren wechselt, so schwankt auch das Volumen des Gletschers, aber die Schwankungen richten sich nicht nach den Witterungsverhältnissen des unmittelbar vorhergegangenen Jahres, dessen Einfluß nur die Oberfläche des Gletschers verspürt.

Ist diese Darstellung der Gletscherbildung richtig, so folgt daraus eine doppelte Bewegung des Firnes, eine der oberflächlichen Schichten durch die Beobachtung unmittelbar nachweisbare bis zur Firngrenze reichende g l e i t e n d e, be-

gleitet von einer senkrecht nach abwärts gerichteten, und eine in der Tiefe vor sich gehende, nicht direkt zu beobachtende, die wir als Abfließen der Firnschichten bezeichnen können.

Die Beobachtungen über die Bewegung des Firnes, die wir S. 199 mitgetheilt haben, sprechen auf das bestimmteste für eine Bewegung des Firnes, wie sie diese Theorie verlangt, indem sie eine eben so energische vertikale Bewegung wie eine vorwärts gerichtete erkennen lassen. In manchen Stunden zeigte sich die letztere selbst die erstere übertreffend. Würde die Bewegung der Firntheilchen, wie sie sich aus diesen Beobachtungen ergab, längere Zeit in gleicher Weise andauern, so würde sie durch die punktirte Linie a b Figur 57, S. 246, angezeigt, indem das Verhältniß der vertikalen zur horizontalen Bewegung während dreier Tage der Art war, daß ein Firntheilchen schließlich auf einem Punkte der Linie b a ankam. Man sieht, wie die durch die Pfeile angedeutete theoretisch entwickelte Richtung der Bewegung mit der an der Oberfläche wenn auch nur kurze Zeit beobachteten vollständig übereinstimmt. Wie weit auf die Struktur des Gletschers diese Bewegung, sowie die Umwandlung des Firnes in Eis durch den bloßen Druck von Einfluß sei, bedarf erst noch weiterer Untersuchung.

Nur um allenfallsigen Mißverständnissen vorzubeugen, will ich erwähnen, daß hinsichtlich der Bewegung des Gletscherstammes dem Druck der höheren Firnschichten kein allzugroßer Einfluß mit dem Gesagten zugeschrieben werden soll. Ein Druck der höheren auf die tieferen Firnschichten findet jedenfalls statt, wie weit er aber zur Bewegung des Gletscherstammes beitrage, das bedarf erst genauerer Untersuchungen in der Natur und zwar für jeden einzelnen Fall besonders. Es wird hier auf die Neigungsverhältnisse des Bodens vorzugsweise ankommen, ob der Gletscher eines solchen Druckes bedarf oder nicht, ob seine Bewegung nicht selbst von der

Art ist, daß er eher einen Zug an den höheren Theilen erzeugt, der die Wirkungen des Druckes hinsichtlich der Streckung der tieferen Firnschichten allerdings verstärken würde. Wir verweisen in dieser Beziehung nochmals auf das über die Plasticität des Eises und den Einfluß derselben auf die Bewegung des Gletschers erwähnte auf S. 225.

Noch auf eine andere Erscheinung wirft diese Annahme der Entstehung des Gletschers einiges Licht, nämlich auf das Vorhandensein von Blöcken Gesteins in allen Tiefen. Dasselbe ist dann eine einfache Folge davon, daß jede oberflächliche mit Felstrümmern versehene Firnschichte allmälig zur tiefsten wird. Auch die Erscheinung, welche wir schon vor Kurzem erwähnt haben, die Schwankungen der Gletscher erscheint dadurch in einem etwas anderen Lichte, als wenn man die Entstehung eines Gletschers dabei nicht berücksichtigt. Wir wollen auch diese so auffallenden Erscheinungen, welche uns unmittelbar zu geologischen Vorgängen hinüberführen, zum Schlusse kurz besprechen.

Die Gletscherschwankungen.

Bei allen Gletschern bemerkt man, daß ihr unteres Ende nicht immer dieselbe Stelle einnimmt, sondern bald weiter thalabwärts sich verschiebt und dann nach einiger Zeit sich wieder zurückzieht. Meistens erfolgt dieses Vorrücken, „Schieben", wie es in manchen Gegenden bezeichnet wird, ebenso wie das Zurückweichen äußerst langsam. Bei einigen wenigen, wie bei dem schon oben erwähnten Vernagt, geschieht namentlich das erstere außerordentlich rasch.

Fragen wir uns, wo das untere Ende eines Gletschers sein muß, so können wir nur im Allgemeinen sagen, da, wo die Zufuhr an Eis durch die Vorwärtsbewegung des Gletschers und die Abschmelzung sich das Gleichgewicht halten. Da nun die erstere abhängig ist von der Menge des in den

höheren Regionen gefallenen Schnees und von der Schnelligkeit der Bewegung des Gletschers, die letztere von den Temperaturverhältnissen am Gletscherende, so ist es begreiflich, daß da alle diese Größen veränderlich sind, auch der Stand des Gletscherendes ein sehr veränderlicher sein muß. Trotzdem ist, wenn wir die Schwankungen des Gletschers ins Auge fassen, noch viel räthselhaftes dabei. Dieselben zeigen sich nämlich meistens in sehr langen Zeiträumen gleichartig erfolgend, d. h. Jahrzehnte hindurch zieht sich der Gletscher immer weiter und weiter zurück, und schiebt sich dann ebenso wieder Jahrzehnte hindurch wieder vorwärts. An unseren Witterungsverhältnissen bemerken wir eine derartige Schwankung durchaus nicht. Trockne und nasse, kalte und warme Jahre wechseln ganz regellos mit einander ab und demgemäß wäre man berechtigt, auch die Gletscherschwankungen ebenso regellos verlaufend zu finden, wie jene, von denen sie mit abhängen. Dem ist aber nicht so. Wir haben leider nur von den wenigsten Gletschern genaue Messungen und Angaben über den Stand ihres Endes, doch genügen die wenigen, zu zeigen, daß jetzt seit längerer Zeit die meisten Gletscher der Schweiz auf dem Rückzuge sich befinden. Von dem Rhonegletscher z. B. wissen wir, daß derselbe 1818 in einer Entfernung von

	200 m. vom Hotel endete,
1856	300 „
1870	800 „

Meist wissen wir nur im Allgemeinen aus den Berichten der Thalbewohner, wenn ein stärkeres Vorrücken und wenn ein Zurückgehen stattgefunden hat. Namentlich das erstere macht sich sehr fühlbar bemerklich, wenn Hütten und Häuser oder auch fruchtbare Matten und Gründe von dem Gletscher erreicht und zerstört werden. Wie ungleich diese Bewegung sei, davon liefern folgende 2 näher bekannte Beispiele einen Beleg. Nach v. Schlagintweit wurde am Rande des

Leitergletschers 1799 eine Steinhütte erbaut. Bis 1820 zog sich der Gletscher um 40 m. zurück, rückte dann bis 1829 um denselben Betrag wieder vor, und zog sich von 1829—1848 um 2 m. abermals zurück. Der Brenvagletscher auf der Südseite des Mt. Blanc war zu Saussure's Zeit (1767) so klein, daß die Doire neben seinem Ende vorbeifloß; später reichte er bis an die andere (südliche) Thalwand und drängte sich bis zu einer kleinen Kapelle in die Höhe, welche 1818 zerstört wurde. 1821 hatte er sich so weit zurückgezogen, daß sie wieder hergestellt wurde und 1840 lag der Gletscher schon wieder 100 m. unter ihr. Er stieg dann wieder von 1842—1846 um 60 m. Vergleicht man verschiedene einander nahe liegende Gletscher mit einander, so bemerkt man, daß das Vorrücken und das Zurückziehen derselben sich sehr verschieden verhält, daß der eine vorrückt, während der andere sich zurückzieht.

Da nun die meteorologischen Verhältnisse auf kurze Entfernungen hin keine bemerkenswerthe Ungleichheit erkennen lassen, so bleibt uns nur die Ungleichheit der Bewegung übrig, welche diese Verschiedenheiten hervorruft. Da bei den verschiedenen Gletschern das Herabkommen der Firnmassen bis an das Gletscherende eine sehr ungleiche Zeit in Anspruch nimmt, so ist es sehr begreiflich, daß das Vorrücken und Zurückweichen für 2 selbst einander sehr nahe liegende Gletscher in verschiedenen Jahren stattfinden kann. Dagegen ist das mehrere Jahre dauernde Vorrücken und ebenso das gleich lange Zeiträume sich fortsetzende Zurückweichen bisher aus den Bewegungserscheinungen nicht sicher abzuleiten. Wir haben leider noch für keinen Gletscher eine selbst nur ein Jahrzehnt umfassende Beobachtungsreihe über die Bewegung desselben, und wissen daher auch nicht, ob das Vorrücken stets mit einer rascheren Bewegung zusammenfalle und umgekehrt das Zurückweichen mit einer Verlangsamung der Be-

wegung verbunden sei oder nicht. Solange das nicht der Fall ist, wird sich auch über die Ursachen dieser Schwankungen wenig sicheres aussagen lassen.

Man hat vielfach die Frage aufgeworfen, ob im Ganzen neben diesen Schwankungen in historischer Zeit eine Zunahme der Vergletscherung eingetreten sei oder nicht.

Es wird nun in der That auch eine ziemlich große Reihe von Thatsachen angeführt, welche beweisen, daß in der Umgebung mancher Gletscher eine entschiedene Ausbreitung von Schnee und Eis stattgefunden hat. Namentlich hat Venetz*) eine nicht unbeträchtliche Zahl solcher gesammelt.

Früher soll der Verkehr zwischen Courmayeur und Chamouny über den Mt. Blanc ziemlich häufig stattgefunden haben. Seit 1781 gehört dieser Uebergang zu den schwierigsten und mühseligsten.

Das gleiche gilt für die Verbindung von Zermatt und dem Eringer Thal hinter der Dent blanche, welche früher von ganzen Processionen benützt wurde, während sie jetzt nur noch von passionirten Kletterern versucht wird.

1560—1600 standen die Protestanten vor Ober-Wallis in Verkehr mit denen von Grindelwald durch einen Saumweg, an dem 2 Kapellen standen. Beide sind, wie der Weg, vom Gletscher zerstört und überdeckt.

Wenn auch nicht alle derartigen Nachrichten sicher verbürgt sind, so ist doch nicht daran zu zweifeln, daß viele derartige Fälle einer zunehmenden Vergletscherung stattgefunden haben.

Auf der andern Seite finden sich vor vielen großen Gletschern in Entfernungen von mehreren hundert, selbst tausend Metern alte Endmoränen, welche ein früheres sehr bedeutendes Weiterreichen der Gletscher anzeigen. Auf diesen Moränen

*) Venetz, Denkschriften 1833.

finden sich zum Theil sehr alte Dörfer und Kapellen, so daß dieselben jedenfalls in sehr früher Zeit von dem Gletscher abgesetzt wurden. Ueberhaupt gibt die Betrachtung der Thäler unterhalb der großen Gletscher, wie das Rhonethal, das Aarthal zu erkennen, daß in uralter Zeit die Gletscher eine außerordentlich weite Ausdehnung, viele Stunden über ihr jetziges Ende hinaus hatten, so daß daraus ein in sehr großen Zeiträumen stattfindendes sehr bedeutendes Vorgehen und Zurückweichen der Gletscher gefolgert werden muß. Die letzten derartigen Schwankungen sind in vorhistorischer Zeit eingetreten und bilden deswegen füglich einen Gegenstand geologischer Forschungen, auf die wir in nächsten Abschnitt einzugehen haben werden.

Geologie der Alpen.

Wohl kein anderes Gebirge zeigt in gleich hohem Grade, wie die Alpen die ungeheuere Gewalt der die Oberfläche der Erde gestaltenden Naturkräfte. Von Ferne schon lassen die schroffen zackigen Formen der Kämme, die jähen Abstürze das Spiel mächtiger bewegender und umgestaltender Einflüsse vermuthen, und schon ein flüchtiger Blick auf die Felswände der Vorberge bestätigt diese Vermuthung auf das überraschendste und läßt uns auch in dieser Beziehung die Alpen als eine Welt der Wunder und Räthsel erscheinen. Hier sehen wir mächtige Lagen von Kalkstein, gewölbeartig gebogen und gekrümmt, wie wenn sie von Wachs wären, dort zickzackförmig gefaltet, wie wir eine Reihe von Papierblättern falten, da zeigen sich mehrere 1000 F. dicke Massen über andere hinübergeschoben und da gar wieder wie ein zugeklapptes Buch zusammengeschlagen.

Die großartigen Veränderungen und Störungen der ursprünglichen Lage der Gesteinsschichten einerseits und die gewaltigen Verhältnisse und Dimensionen andrerseits, mit denen man es hier zu thun hat, machen das geologische Studium der Alpen ebensowohl zu einer der anziehendsten als auch beschwerlichsten Aufgaben, welche der wissenschaftlichen Untersuchung gestellt sind. Man wird es daher begreiflich finden, daß es erst ziemlich spät gelungen ist, den so äußerst verwickelten Gebirgsbau der Alpen aufzuhellen. Italiener, Franzosen, Schweizer und Deutsche haben mit gleich großem Fleiße und unermüdlicher Ausdauer es endlich dahin gebracht, daß, wenn auch noch manches Räthsel ungelöst ist, doch im Großen und Ganzen die geologischen Verhältnisse der Alpen sicher festgestellt sind. Wir werden am besten uns eine Uebersicht verschaffen, wenn wir nach einem kurzen Blicke auf das Material, aus dem unser Gebirge aufgebaut ist, die Lagerungsverhältnisse desselben und die Entwicklung, die es durchzumachen hatte, betrachten.

Das Material der Alpen.

Auch einem wenig achtsamen Beobachter, der aus einem nicht gebirgigen Lande kommt, wird, wenn er auch nur die Chausseehaufen oder die am Wege liegenden Gesteinstrümmer sieht, der Unterschied in der Beschaffenheit derselben auffallen, welcher die Geognosten bestimmte, 3 Haupabtheilungen der Gesteine aufzustellen, nämlich krystallinische, amorphe oder dichte, und Trümmergesteine. Fast immer sind die ersteren aus mehreren Bestandtheilen oder Mineralien zusammengesetzt, die zweiten dagegen aus einer homogenen Masse bestehend. Die wichtigsten und am meisten verbreiteten gesteinsbildenden Mineralarten sind folgende:

1. Quarz, Bergkrystall, Rauchtopas genannt, wenn er schwarz oder beim Durchsehen dunkelbraun gefärbt er-

scheint, Amethyst, wenn er violblau sich zeigt. In den Gesteinen leicht erkenntlich durch seinen Glasglanz, der auch durch die Verwitterung nicht zerstört wird, durch seine große Härte, er ritzt Glas und gibt lebhaft Feuer am Stahl, und durch das Ansehen seiner Bruchflächen, die nie eben erscheinen, wie es sonst die meisten der in den Gesteinen auftretenden Krystalle erkennen lassen.

2. Feldspath. Unter diesem Gattungsnamen begreift man eine große Anzahl verschiedener Mineralien, von fleischrother, gelber, weißer, grauer, auch grünlicher Farbe, die meist sehr deutlich nach 2 entweder genau rechtwinklig auf einander stehenden oder wenig schiefwinkligen Richtungen sich spalten lassen, gewöhnlich undurchsichtig sind und wenig glänzen, nur selten auf ganz frischen Bruchflächen schwachen Glasglanz zeigen. Die in den Gesteinen am häufigsten auftretenden sind von ersteren Orthoklas (der gemeinste Feldspath, meist gefärbt); eine in sehr schönen Krystallen, namentlich am St. Gotthard gefundene Varietät ist der sog. Adular. Dann von letzteren Albit, meist weiß, Oligoklas und Labradorit.

3. Glimmer, ausgezeichnet durch seine höchst vollkommene Spaltbarkeit, es lassen sich Blättchen von $^1/_{20000}$ mm. mit Leichtigkeit herstellen, seine Elasticität und seine Weichheit, durch seinen von der Verwitterung nicht zerstörbaren lebhaften Glas- oder Perlmutterglanz, der hie und da in Silber- und Goldglanz übergeht (was ihm den Namen Katzensilber, und Katzengold verschaffte), und seine geringe Härte, die schon dem Fingernagel nicht mehr widersteht. Er erscheint meist in kleinen Blättchen, die weiß oder schwarz erscheinen, seltener grau oder grünlich. Ihm in vielen Eigenschaften ganz nahe stehen

4. der Chlorit, dunkellauchgrün, sonst wie Glimmer, aber nicht elastisch, nur biegsam und weicher als Glimmer und

5. der Talk, apfelgrün oder weiß, sonst ganz dem Chlorit ähnlich, das weichste unter den 3 letztgenannten.

6. Hornblende, gewöhnlich dunkelschwarz, spaltbar nach 2 Richtungen, welche einen Winkel von nahezu 120° bilden und dadurch leicht zu unterscheiden von

7. Augit, der von ähnlicher Farbe unter 2 fast rechtwinklig auf einander stehenden Richtungen spaltbar ist. Von Augit kommen verschiedene Arten in den Gesteinen vor, der gemeine Augit, auch Pyroxen genannt, dann der auf glatten Bruchflächen kupferartigen Schimmer zeigende Hypersthen und der sehr deutlich blättrige dunkelgrau oder grünlich, auch bräunlich erscheinende Diallag.

Die genannten, mit Ausnahme des Quarzes, der reine krystallisirte Kieselsäure ist, enthalten alle Verbindungen der Kieselsäure oder nach den neueren chemischen Anschauungen des Siliciums, das mit Sauerstoff die Kieselsäure bildet, mit Kalium, Natrium, Kalcium, Magnesium, Eisen, Aluminium und Sauerstoff, Chlorit und Talk enthalten auch noch Wasser. Sie bilden theils für sich allein, theils 2 oder 3, seltener zu 4 die sog. krystallinischen Gesteine, die Urgebirgsarten und eruptiven, d. h. aus der Tiefe im flüssigen Zustande emporgestiegenen Gesteine. Man bezeichnet diejenigen Mineralien als wesentliche Gemengtheile der Gesteine, welche nothwendig zu dem Begriffe desselben sind; als unwesentliche Gemengtheile führt man diejenigen auf, welche zwar häufig in gewissen Gesteinen auftreten, aber doch auch fehlen können und meist auch in sehr geringer Menge sich einfinden. Zu solchen gehören Granat, Turmalin, Cyanit und Olivin, sämmtlich der Zusammensetzung nach den 6 letztgenannten ähnlich, Silicium enthaltend, und Eisenglanz und Magneteisen.

Für sich allein ganze Gesteine bildende Mineralien sind noch

8. der Kalkspath, welcher die verschiedenen Marmorarten und gemeinen Kalksteine bildet,

9. der Dolomitspath, mit dem Auge von dem Kalkspath kaum unterscheidbar und ganz ähnliche Gesteine bildend, beide noch mit einer Stecknadel leicht zu richten;

10. der Gyps, in klaren Krystallen auch Frauenеis oder Marienglas genannt, mit dem Fingernagel leicht zu schaben, und der etwas härtere, meist in würfeligen Massen auftretende Anhydrit, beide aus Kalk und Schwefelsäure bestehend, der Gyps mit, der Anhydrit ohne Wasser;

11. das Steinsalz, welches hie und da auch in so gewaltigen Massen auftritt, daß man es als Gestein bezeichnen kann.

Wir betrachten nun kurz die wichtigsten Gesteine.

A. Krystallinische, geschichtete Gesteine.

1. Granit, inniges regelloses Gemenge von Feldspath, Quarz und Glimmer, die ein bald grob- bald feinkörniges Gestein bilden. Häufig tritt auch noch Hornblende hinzu und als unwesentlicher Gemengtheil Turmalin. In den Alpen findet sich eine besondere Varietät des Granites, die man Protogin genannt hat. Dieser ist ein Gemenge von gemeinem Feldspath (Orthoklas) und Oligoklas, Quarz, Glimmer und Talk und zeigt sich am Mt. Blanc in großen Massen; die höchsten Spitzen, der eigentliche Kern desselben besteht aus ihm. Sonst tritt er selten auf. Die Schichtung ist beim Granit oft undeutlich.

2. Gneiß. Nur durch seine Struktur vom Granit unterschieden. Die Glimmerblättchen finden sich nämlich in größeren Massen zu parallelen Lagen oder Streifen vereinigt, wodurch das Gestein eine plattenförmige bis ins Schiefrige gehende Struktur erhält. Uebergänge zwischen Granit und Gneiß sind häufig so allmälig, daß man oft in Verlegenheit kommt, ob man ein Gestein als Granit oder Gneiß bezeichnen soll. Auch der Gneiß enthält namentlich in den Alpen oft Horn-

blende. Man hat solche, in den Ostalpen sehr verbreitete Gesteine als Hornblendegneiße bezeichnet. Die Gneiße finden sich in den Alpen in größerer Ausdehnung als die Granite.

3. Glimmerschiefer, Quarzkörnchen und Körner zwischen Glimmerlagen eingeschlossen. Da das Gestein wegen der leichten Spaltbarkeit des Glimmers stets parallel diesen sich spaltet und diese wieder den Schichtungsflächen parallel liegen, so sieht man auf letzteren oft nur Glimmer; auf dem Querbruche erkennt man aber leicht den Reichthum an Quarz. Sehr häufig finden sich im Glimmerschiefer Granaten, die im obern Zillerthale selbst so rein sind, daß sie verschliffen werden. Mit ihm zugleich finden sich 4. Chloritschiefer und 5. Talkschiefer, schuppig schiefrige Massen von Chlorit und Talk; beide enthalten nicht selten auch Quarzkörnchen und als unwesentlichen Gemengtheil hie und da in größerer Menge Magneteisen, gewöhnlich in wohlausgebildeten Octaëdern.

B. Krystallinische, massige Gesteine.

An den Granit sich anschließend und zuweilen in ihn übergehend, finden wir 3 hornblendehaltige Gesteine.

6. Den Syenit. Er besteht aus Orthoklas und Hornblende, zu denen sich häufig auch Oligoklas und Glimmer gesellen. In den Alpen wird er besonders stark angetroffen westlich vom Lago Maggiore im Veltlin, auf dem Südabhange der Penninischen Alpen und am Monzoni.

7. Diorit, aus Hornblende und Oligoklas bestehend, zu denen hie und da etwas Quarz kommt, meist grünlich erscheinend. Er erscheint zuweilen schiefrig und führt dann den Namen Dioritschiefer. In den Berner Alpen mit andern Hornblendegesteinen auftretend. Ihm verwandt ist der im Adamellogebirge mächtig auftretende

8. Tonalit, wie G. v. Rath dieses eigenthümliche, aus einem schiefwinklig spaltbaren Feldspath, Quarz, Hornblende

und Glimmer bestehende Gestein nannte. — Augit und Feldspäthe führen

9. der Gabbro, gewöhnlich aus Labradorit und Diallage bestehend, namentlich der letztere oft in zollgroßen Krystallen ausgebildet, aber auch feinkörnig. Im Oberhalbstein und am Mte. Rosa häufiger. Ihm sehr nahe steht der

10. Hypersthenit, aus Labradorit und Hypersthen zusammengesetzt.

11. Der Augitporphyr, ein basaltähnliches schwarzes Gestein, aus Labradorit und deutlichen Augitkrystallen bestehend. Mit ihm findet sich der von ihm früher nicht als besonderes Gestein getrennte 12. Melaphyr, namentlich in Südtirol in gewaltigen Massen. Ein schiefwinklig spaltbarer Feldspath mit Hornblende oder Augit ist zu einer meist mikroskopisch feinkörnigen Masse vereinigt.

13. Der Porphyr (Feldsteinporphyr, Felsitporphyr), meist röthliche scheinbar dichte Grundmasse mit Feldspath und Quarzkrystallen, häufig auch Glimmerblättchen enthaltend. Bei vielen Porphyren fehlt der Quarz gänzlich, dafür tritt hie und da Hornblende auf. Auf der Südseite der Alpen, namentlich in der Gegend von Botzen zeigen sich die Porphyre in gewaltigen Massen.

Das einzige massig auftretende, nicht krystallinische Kieselgestein der Alpen ist

14. der Serpentin, meist grün, seltener braun, oft gefleckt, ziemlich weich, in der Regel in Gesellschaft der grünen Schiefer der Alpen angetroffen. In einer vielfach unterbrochenen Reihe finden sich Serpentinmassen vom Mte. Viso an bis ins Urserenthal, dann im Davos und Engadin, ebenso ist er in den Ostalpen nicht selten.

Ueberall ist das Serpentingebirge durch seine Unfruchtbarkeit ausgezeichnet, da der Serpentin nur Kieselsäure,

Bittererde und Wasser enthält, und kaum Spuren von Verwitterung zeigt.

C. Einfache Gesteine, meist auch zugleich unkrystallinisch und geschichtet.

Hier ist es zunächst die Familie des Kalksteines, welche den bedeutendsten Antheil an der Zusammensetzung des Gebirges nimmt. Am häufigsten ist

15. der gemeine Kalkstein, bald grau, bald gelb, auch roth gefärbt, meist deutlich geschichtet, von den ältesten bis auf die jüngsten Zeiten herab entstanden. Hie und da tritt er krystallinisch auf, — Urkalk oder Marmor, welchen letzteren Namen man übrigens auch auf alle gefärbten zum Verschleifen geeigneten dichten Kalke ausgedehnt hat. Ihm nahe steht der

16. Dolomit, den erst der französische Geologe Dolomieu als ein vom Kalke verschiedenes Gestein kennen lehrte.

Namentlich die sog. Nebenzonen der Alpen und die Vorberge derselben bestehen größtentheils aus Kalk und Dolomit.

17. Gyps und Anhydrit von geringerer Verbreitung, gewöhnliche Begleiter des Steinsalzes.

D. Unkrystallinische, gemengte und klastische Gesteine.

Hieher gehören die aus der Zerstörung älterer Gesteine hervorgegangenen, mechanisch im Wasser ausgebreiteten Gesteine, denen sich jedoch zuweilen krystallinische oder aus Auflösung abgesetzte Massen beimengen. Als die wichtigsten sind zu bezeichnen

18. die Schiefer, welche wohl größtentheils als fein zerriebenes und geschlämmtes Material der ältesten Gesteine anzusehen sind, obwohl ein Theil von ihnen den krystallinischen Schiefern sich so enge anschließt, daß sie wie diese entstanden sein müssen. Chemische Zusammensetzung, Farbe und Aussehen ist sehr verschieden, aber das gemeinschaftliche Merk-

mal, die deutliche Schieferung läßt es gerathen erscheinen, sie alle beisammen zu lassen. Graue und grüne Farben sind vorherrschend, doch kommen auch gelbliche und röthliche vor.

19. Thone (Lehm, Letten). Man begreift darunter die im reinen Zustande nur Kieselsäure, Thonerde, in verschiedenen Verhältnissen, und Wasser enthaltenden Massen, die in der Natur jedoch meist durch Sand, Glimmer, Kalk und verschiedene Mineraltrümmer verunreinigt sind. Sie sind oft sehr bunt gefärbt, nicht selten fein schiefrig, den gewöhnlichen Schiefern sehr ähnlich (Schieferthon). Steigt der Kalkgehalt in ihnen auf 20 %, so nennt man diese, im trockenen Zustande sehr harten, meist wohlgeschichteten, auch oft schiefrigen Massen

20. Mergel oder Mergelschiefer. Sie sind meistens grau gefärbt und verwittern leicht, indem sie sich aufblättern.

21. Sandsteine. Gröbere oder feinere Quarzkörnchen zu mehr oder weniger harten Gesteinen zusammengekittet. Das Bindemittel der Sandkörnchen ist bald Kiesel, bald Kalk, Thon oder Eisenoxydhydrat Auch den Sandsteinen gesellen sich häufig Glimmerblättchen und andere Trümmer bei. Ihre Farbe ist ebenfalls verschieden, weiß, röthlich, grünlich, gelb, besonders durch das Bindemittel erzeugt.

22. Nagelflue, eines der charakteristischsten, jedem Rigibesucher bekanntes Trümmergestein der Alpen. Fast vollkommen abgerundete Rollsteine von Kalk- und Sandsteinen, aber auch krystallinischen Gesteinen, wie Granit und Gneiß, sind durch Kalkmasse zu einem festen Gesteine zusammengekittet.

Der Aufbau der Alpen.

Ein Blick auf die geologische Karte zeigt uns ein Hauptgesetz des Baues des Alpengebirges, daß nämlich die Mitte oder Achse des Gebirges aus den zusammengesetzten krystalli-

nischen Gesteinen besteht, der sich rechts und links andere geschichtete Gesteine anlegen. Es ist vorzugsweise Gneiß, mit Granit und Glimmerschiefer, welche eine ununterbrochene Masse von den Quellen des Po und der Durance bis an die ungarische Ebene hin bilden. Alle die höchsten Gipfel, die kleineren Centralmassen, bestehen aus einem dieser Gesteine. Sie sind umlagert von schiefrigen oder geschichteten einfachen Gesteinen. So einfach aber diese Verhältnisse im Allgemeinen auf einer geologischen Karte sich zeigen, so höchst complicirt sind dieselben in der Natur. Sie zwingen mit Nothwendigkeit zu der Annahme, daß sehr gewaltige Störungen in den ursprünglichen Lagerungsverhältnissen stattgefunden haben. Die Ansichten der Geologen gehen aber noch sehr weit auseinander hinsichtlich der Art und Weise, sowie hinsichtlich der Mittel, durch welche diese Veränderungen erzeugt wurden. Verhältnißmäßig am einfachsten gestalten sich die Erscheinungen noch in den eigentlichen Centralmassen und in den Ostalpen, am Rande aber und in den Westalpen sind sie so verwickelt, daß noch eine große Aufgabe den Geologen in den Alpen gegeben ist. Betrachten wir die Achse, die Centralmassen des Gebirges, so finden wir gewöhnlich eine gewölbeartige Struktur der Gneiß- und Granitmassen (1) oder auch eine senkrechte Stellung der Schichteu desselben, und an diese Kernmassen sich anlegend und sie oft mantelartig umhüllend krystallinische Schiefergesteine, Glimmerschiefer, Chlorit und Talkschiefer u. a. (2), deren Neigung nach außen hin allmälig geringer wird, denen dann gewöhnlich (3) jüngere sedimentäre Schichten folgen.

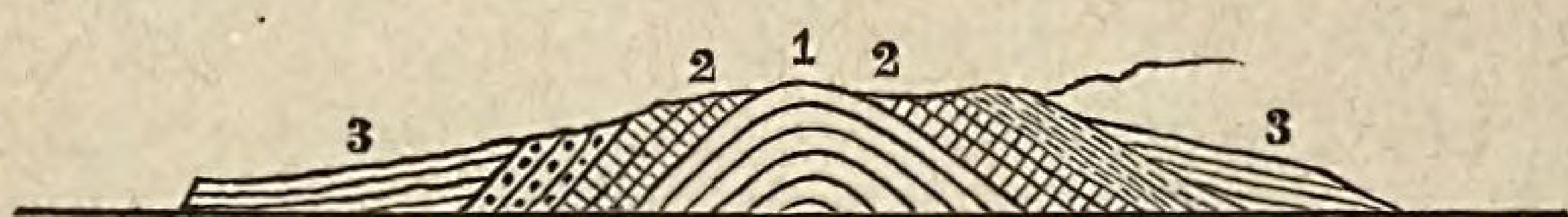


Fig. 58.

Neben dieser Art tritt aber, selten deutlich ausgesprochen in den Ostalpen, häufiger in den Westalpen eine Art der

Schichtenstellung auf, welche man als Fächerstruktur bezeichnet hat. Die folgende Figur gibt uns einen Durchschnitt durch den Mt. Blanc von Süd nach Nord nach A. Favre, der gewöhnlich als eines der schönsten Beispiele für diese Struktur angesehen wird, welche auch am St. Gotthard sich zeigt. Das charakteristische an derselben ist, daß die krystallinischen Centralmassen, hier Gneiß und Protogin, in der Mitte senkrecht stehen und nach beiden Seiten hin allmälig weniger steil nach unten zu wie ein Fächer zusammenlaufen. Nach neueren Untersuchungen am Mont Blanc, wie auch nach den im Gotthardtunnell angestellten Beobachtungen scheint jedoch die Regelmäßigkeit in der Stellung der Schichten nicht so groß, wie man sie früher annahm, und die reine Fächerstruktur demnach zweifelhaft. Die viel jüngeren, sedimentären Gesteine, welche am Mt. Blanc größtentheils der Juraformation angehören (J der Figur), zeigen sich oft eigenthümlich, krippenartig gebogen.

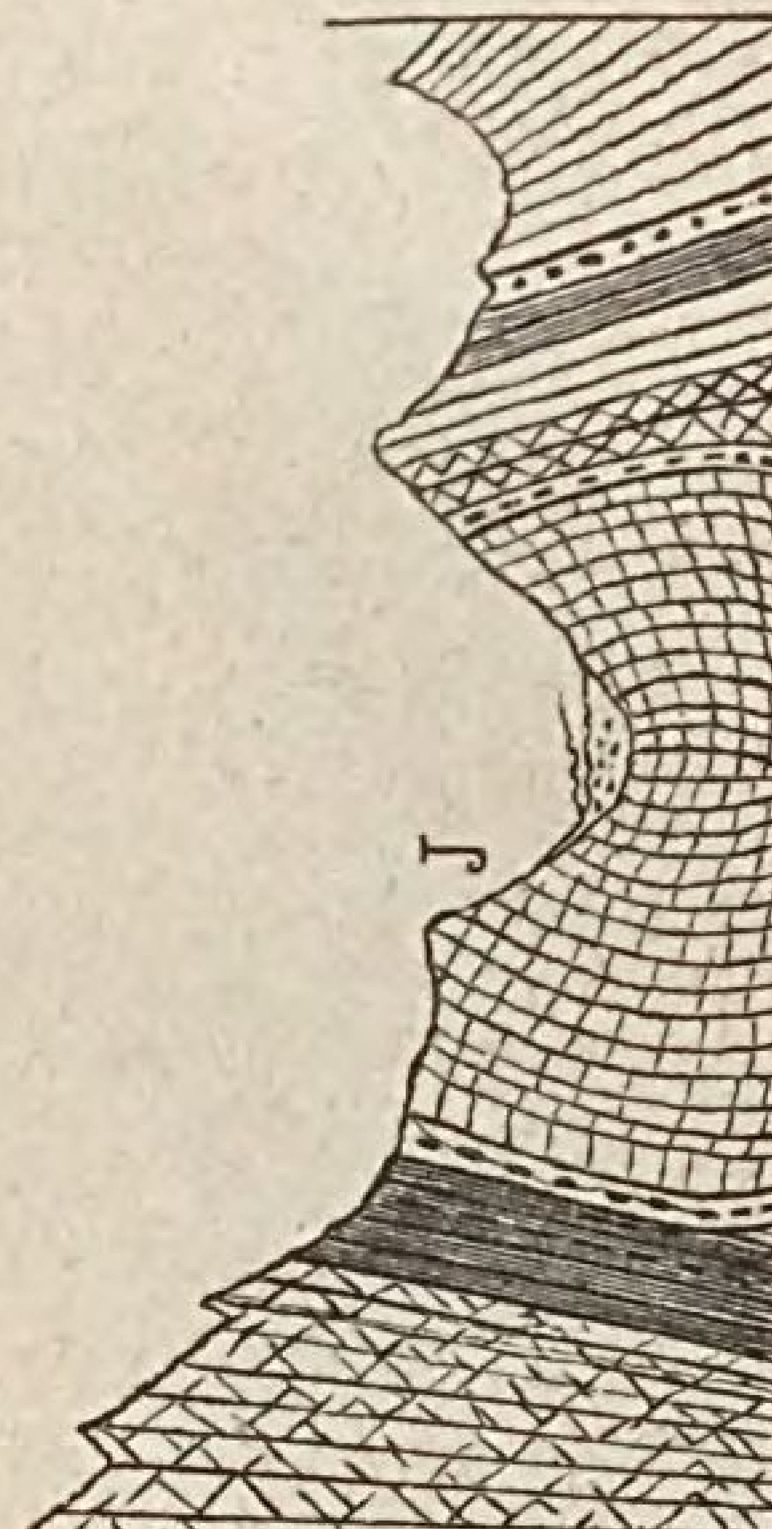


Fig. 59.

Da man diese und ähnliche eigenthümliche Faltungen und Biegungen der jüngeren Gesteine überall beobachtet, wo sich diese centralen Gneißmassen finden, hat man dieselben in direkten Zusammenhang mit dieser offenbar nicht ursprünglichen Lagerung der jüngeren Gesteine gebracht und angenommen, daß diese centralen Massen wie ein Keil sich später eingedrängt und dadurch jene Biegungen erzeugt hätten. Man hat nun die Wahl, ob man diese krystallinischen Massen

im flüssigen Zustande hervorgequollen annehmen will, wie es der von Allen als erste Autorität auf dem Gebiete der Schweizer Geologie anerkannte B. Studer gethan, oder, um den dabei sich ergebenden Schwierigkeiten zu entgehen, sie im festen Zustande eingeschoben denken, was aber auch nicht geringere Bedenken erregt, wie es A. Favre, allen Geologen wohl bekannt, durch seine gründlichen Untersuchungen an und um den Mont Blanc für diesen vorschlägt. In beiden Fällen sind die mechanischen Vorgänge, d. h. die Ursache, welche jene keilartig wirkenden Massen in die Höhe schob, nicht recht nachzuweisen.

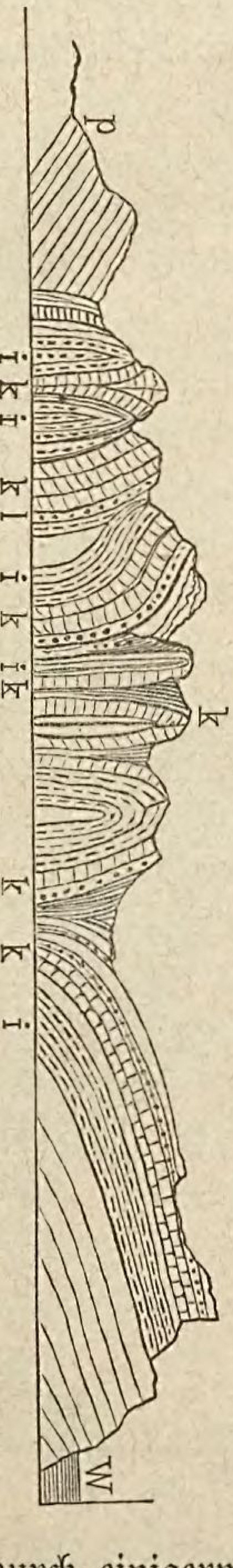


Fig. 60. Spatangenkalk. k. Rudistenkalk. Gault. p. Nagelfluh.

Noch größer ist die Schwierigkeit, die gewaltigen Schichtenstörungen am Rande der Alpen zu erklären, wo nirgends eine Spur von diesen krystallinischen Gesteinen sich zwischen den jüngeren sedimentären findet.

Die Figuren 60 und 61 mögen einen Begriff von den gewaltigen Verschiebungen und Faltungen geben, welche noch die Randgebiete der Alpen betrafen.

Fig. 60 stellt einen Durchschnitt durch den Nordrand der Alpen vom Wallenstätter See (W) nach Norden dar, wie ihn Studer gibt. Das Gewirre der steilgestellten Falten ist so groß, daß man kaum sich in denselben zurechtfindet, wenn sie gezeichnet sind. Man wird sich aber dadurch einigermaßen in den Stand gesetzt sehen, zu ermessen, welche ungeheure Schwierigkeiten es hat, in der Natur sich

die Sache erst zurechtzulegen, wenn man bedenkt, daß man es da mit meilenweit gestreckten Bergen, hohen Felswänden, die noch dazu den größten Theil ihres Gliederbaues mit lockeren Massen, Wiesen und Wald verdecken, zu thun hat. Man wird dann ebensowohl die Ausdauer und den Fleiß, wie auch den Scharfsinn und die Kombinationsgabe der Männer bewundern, welche unter so großen Schwierigkeiten so große Resultate erreichten, wie B. Studer, Gümbel und so manche andre Geologen der verschiedenen die Alpen umwohnenden Völker, und sich nicht mehr verwundern, daß noch manches in der Geologie der Alpen unaufgehellt ist.

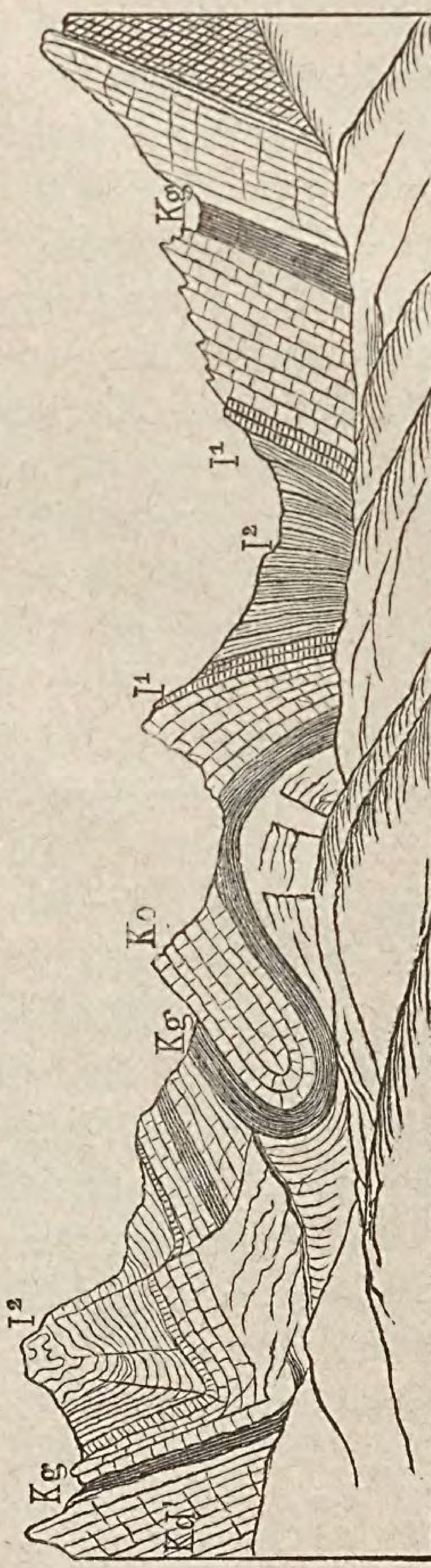


Fig. 61.

Figur 62 stellt nach Gümbel ebenfalls von Süd nach Nord einen Durchschnitt aus den Alpen in der Gegend des Schliersees dar; 5 mal tritt hier dieselbe Schichtenfolge Kg zu Tage, bald steilere, bald flachere Falten bildend.

Auch am Südrande der Alpen wiederholen sich dieselben Erscheinungen der gewaltigsten Biegungen und Faltungen wie auf der Nordseite, und stets macht sich auch dieselbe Thatsache bemerklich, daß nämlich die Biegungen und Faltungen senkrecht auf der Längsachse des Gebirges stehen, oder nur wenig von derselben abweichen.

Alle Erscheinungen weisen auf einen ungeheueren Seitendruck hin, welcher vorzugsweise in einer Richtung wirkte. „Man kann sich, sagt Gümbel, diesen Schichtenbau einfach durch ein Buch versinnlichen, welches von den 3 freien Seiten, von der vorderen längeren Seite jedoch ungleich stärker, zusammengedrückt wird; es geben dann die Falten, in welche die Blätter sich legen, ein kleines Modell für die Biegungen ab, welche in den Sedimentgebilden unseres Kalkalpengebirges fast ausschließlich herrschen." Dasselbe Gleichniß paßt für alle Theile des Alpengebirges.

Wenn uns nun auch die Ursache aller dieser gewaltigen Bewegungen noch nicht genau bekannt sind, so können wir doch mit Sicherheit den Zeitpunkt angeben, in welcher dieselben wirkten und dem Alpengebirge die Form gaben, in welcher wir dasselbe im Großen und Ganzen noch jetzt sehen, wenn auch die Zeit manche kleinere Runzel und Vertiefung den gewaltigen Furchen und Falten hinzufügte, welche damals entstanden. Da selbst die jüngeren Tertiärbildungen noch mit von dieser Bewegung erfaßt wurden, so geht daraus mit Sicherheit hervor, daß die Alpen unmittelbar vor dem Auftreten des Menschen und der jetzigen Periode emporgehoben wurden. Sie gehören zu den jüngsten Gebirgen der Erde, d. h. zu denjenigen, welche erst in der jüngsten Zeit ihre jetzige Höhe erreichten, wenn schon einzelne Theile derselben in früheren Zeiten schon Land geworden sein mögen und nicht mehr vom Meere bedeckt wurden. Diese früheren Verhältnisse der Alpen wollen wir zum Schlusse in kurzen Zügen schildern.

Geschichte der Alpen.

Als ein Theil der Erde hat auch unser Gebirge an den allgemeinen Veränderungen derselben Theil genommen. Diese die Urzeit unseres Planeten umfassenden Entwicklungsstadien bestanden nach der wahrscheinlichsten Annahme darin, daß die Erde anfangs glühend und geschmolzen sich mit einer durch Abkühlung entstandenen Rinde umgab, die allmälig immer dicker wurde.

Sichere Auskunft können wir über diese Rinde und deren Beschaffenheit nicht geben, es ist sehr zweifelhaft, ob sie irgendwo auch nur in Bruchstücken noch zu sehen ist. Das anfangs in der Atmosphäre in Dampfform schwebende Wasser stürzte nach und nach auf die kühler werdende Rinde herab, und zerstörte dieselbe theils auf chemischem Wege, theils mechanisch. Mit dem Beginne des Absatzes dieser ältesten wässrigen Bildungen auf dem Grunde der anfangs wahrscheinlich noch ziemlich warmen, noch keine lebenden Wesen enthaltenden Meere beginnt die sichere Geschichte der Erde, deren einzelne Perioden charakterisirt sind durch die Bildung bald mehr, bald weniger mächtiger Reihen geschichteter, sog. sedimentärer Gesteine, die man gruppenweise unter dem Namen Formation zusammengefaßt hat. Man versteht daher unter einer „Formation" die ganze Reihe geschichteter und massiger Gesteine, welche sich innerhalb eines gewissen Zeitabschnittes auf der ganzen Erde aus den verschiedenen Meeren abgesetzt haben. Man scheidet die einzelnen Formationen von einander, indem man theils die mineralogische Zusammensetzung, theils die Lagerungsverhältnisse und wo sie vorkommen, die organischen Reste, welche sie einschließen, zu Rathe zieht. Man hat mit Rücksicht auf die letzteren die Geschichte der Erde in 4 große Abtheilungen gebracht, und

danach ein Azoisches — Paläozoisches — Mesozoisches und Cenozoisches Zeitalter unterschieden.

Der Paläozoischen Zeit gehören die Cambrische, Silurische, Devonische, Steinkohlen- und Dyasformation an. Sie sind durch fast ganz ausgestorbene Gattungen von Thieren ausgezeichnet, von denen sich bis zu den Amphibien herauf alle Klassen des Thierreiches vertreten finden.

Die Mesozoischen Formationen sind: die Trias- (als bunter Sandstein, Muschelkalk und Keuper in ihren 3 Abtheilungen früher bezeichnet), die Jura- und die Kreideformation.

Das Cenozoische Zeitalter beginnt mit der sog. tertiären Formation, die man am häufigsten auch in 3 Abtheilungen, als Eocene, Miocene und Pliocene Formation bezeichnet, zerlegt hat. Manche nehmen auch nur 2 solche Abtheilungen an, und nennen dieselbe Eogene und Neogene. An verschiedenen Orten sind noch Lokalnamen für dieselbe benützt worden, z. B. Molasseformation in der Schweiz, Braunkohlenformation u. a.

Die Abgrenzung der tertiären Formationen von der jetzigen Periode ist nicht immer scharf gegeben.

Die Azoische Formation besteht meist aus krystallinischen geschichteten Gesteinen, wie Gneiß, Glimmerschiefer, Chlorit- und Talkschiefer. Man hat sie wohl auch als Urformation oder Urgneißformation bezeichnet. In der neueren Zeit hat man nach Untersuchungen in Kanada, wo diese Formation eine außerordentliche Mächtigkeit hat, dieselbe in zwei Abtheilungen gebracht, in eine ältere die sog. Laurentinische und eine jüngere Huronische Formation. Für die Alpen ist bis jetzt keine nähere Altersbestimmung der krystallinischen geschichteten Gesteine durchgeführt. Wegen der so vielfach gestörten Lagerungsverhältnisse sind alle Gesteine, welche keine Versteinerungen enthalten, sehr schwierig hinsichtlich der Zeit ihrer Entstehung mit denen anderer Lokalitäten zu vergleichen.

Die Thatsache, daß man in solchen krystallinischen Gesteinen wenn auch schlecht erhaltene Belenmiten gefunden, scheint dafür zu sprechen, daß in den Alpen auch später noch als in der Urformation sich dieselben gebildet haben. Die Mehrzahl der Geologen nimmt sogar an, daß diese Gesteine erst lange nach ihrer Ablagerung umgewandelt und in den krystallinischen Zustand versetzt worden seien. Sie werden deswegen auch als „metamorphische" Gesteine bezeichnet. Ueber die Art der Umwandlung, wie und wodurch dieselbe erfolgt sein soll, gehen die Ansichten jedoch so weit auseinander, daß daraus nur so viel hervorgeht, daß die Theorie des Metamorphismus noch ganz unsicher sei. Sicheren Boden gewinnen wir erst mit dem Erscheinen von Versteinerungen, die sich zuerst in den

Paläozoischen Formationen einstellen.

Wenn die Gesteine derselben nicht, wie Manche annehmen, großen Theils umgewandelt und krystallinisch geworden sind, so finden sich nur sehr wenige Spuren derselben in den Alpen.

Bei Dienten im Salzburgischen hat man Versteinerungen gefunden, welche für die Silurformation sprechen, ebenso bei Saalfeld, zu Vordernberg und Eisenerz, und bei Ober-Vellach in den Karawanken.

Der Devonischen Formation gehören wohl einige Schichtenreihen bei Graz an.

Die Steinkohlenformation mit Anthracitschichten findet sich am mächtigsten in den Westalpen in Savoyen, wo die Lagerungsverhältnisse äußerst complicirt sind, zeigt sich dann in schmalen Parthieen an der Arve und bis zur Rhone, auch bis zum Tödi hie und da in Flecken, und erscheint dann wieder im Osten in den sog. Gailthaler Schichten in Kärnthen und Steiermark in einem ausgedehnten Streifen.

Die Dyas ist mit Sicherheit noch nicht nachgewiesen. Es ergibt sich daraus als eine Eigenthümlichkeit der Alpen, daß die sonst verhältnißmäßig mächtigsten Schichtensysteme der Paläozoischen Formationen in den Alpen sich sehr wenig verbreitet zeigen und hier eine geringere Mächtigkeit besitzen als die

Mesozoischen Formationen.

Auch diese zeigen sich sehr verschieden von dem Vorkommen derselben in den nicht alpinen Ländern. Die Abweichung in der Zusammensetzung, der Gliederung und den eingeschlossenen organischen Resten von der Ausbildung dieser Formationen außerhalb der Alpen ist so groß, daß man erst 1822 überhaupt das Vorkommen derselben in den Alpen erkannte und noch jetzt auf große Schwierigkeiten stößt, wenn man näher auf eine Parallelisirung der alpinen Ablagerungen mit denen niedrigerer Gegenden sich einläßt, und die Ansichten der Geologen über die Deutung und Benennung dieses oder jenes Schichtensystems noch sehr von einander abweichen. Sicher ist aber, daß zunächst die Trias in sehr mächtigen, oft mehrere 1000 F. dicken Schichtenreihen auftritt, aber, wie ein Blick auf die Karte zeigt, mehr im Osten, höchst spärlich im Westen der Alpen. Die Ablagerung derselben aus einem tiefen freien Meere, wie sie aus den in ihnen enthaltenen Thierresten erschlossen wurde, während die Trias von Mittel- und Süddeutschland, sowie von Frankreich als eine Strand- und Buchtbildung anzusehen ist, bedingte eine wesentliche Verschiedenheit der Ausbildung beider, so daß in den Alpen die Trias besser nur in 2 Abtheilungen gebracht wird, eine untere und eine obere. Die untere, dem bunten Sandsteine entsprechende hat nach einer Lokalität, wo sie am frühesten genauer bekannt war, nach Werfen den Namen Werfener Schichtenreihe oder Werfener Schiefer erhalten, da es meist schiefrige Sandsteine sind, welche sie zusammensetzen. Eine

kaum 100 F. mächtige, hie und da auf die Werfener Schichten folgende Reihe von Kalksteinen nach dem Virgloria-Paß in Tyrol als Virgloriakalk bezeichnet, ist als Repräsentant des deutschen Muschelkalkes anzusehen. Die obere alpine Trias entspricht wohl ganz dem Keuper. Sie besteht in den Alpen aber hauptsächlich aus gewaltigen Kalk- und Dolomitmassen, die sich leicht in 3 Abtheilungen — einen untern, mittleren und oberen Keuper bringen lassen, deren jede ebenfalls wieder öfter deutlich in 2 oder 3 Abtheilungen zerfällt. Auch für diese gebraucht man meist noch Namen von bestimmten Lokalitäten, wo dieselben besonders gut ausgebildet und erkenntlich sind. So die sog. Cassianer oder Partnachschichten, Hallstätter und Raibler Schichten des untern Keupers, Kössener Schichten und Dachsteinkalk für den obern Keuper. Doch weichen auch in Beziehung auf die Deutung dieser Schichtenreihen die Geologen, welche sich mit dem Studium der Alpen eingehend beschäftigt, vielfach von einander ab.

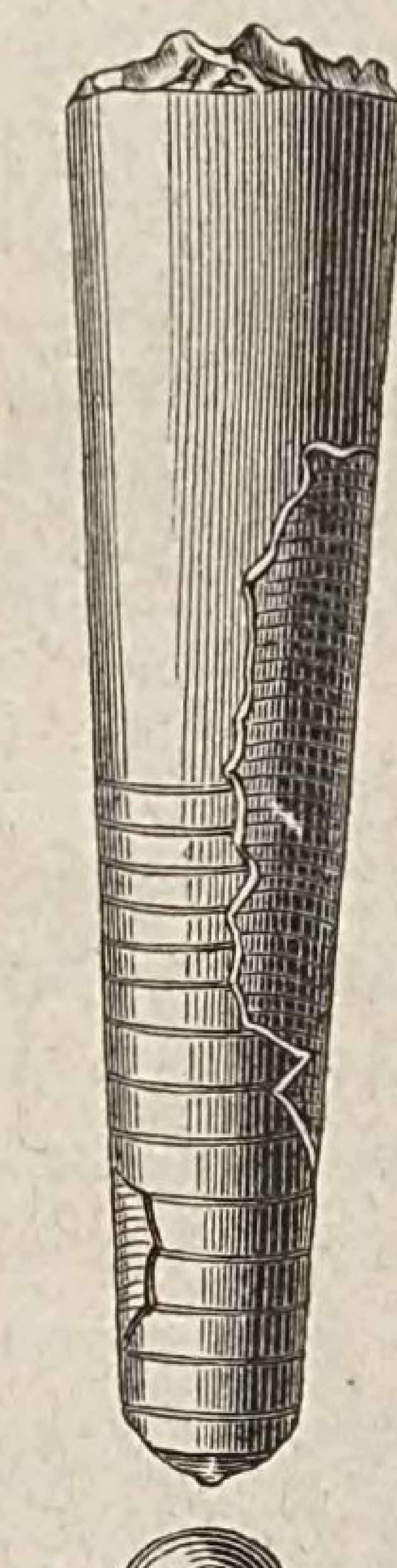


Fig. 62. Orthocerus timidum aus silurischem Kalkstein von Lochkowin, Böhmen.

Wichtig ist die Trias der Alpen besonders dadurch, daß sie die reichen Salzlager einschließt, welche in den Ostalpen auf der Nordseite derselben so weite Verbreitung haben. Die alpine Trias ist auch darin von der andrer Länder unterschieden, daß die in derselben eingeschlossenen organischen Wesen großen Theils ganz andere sind und daß sich in den andern Ländern nie zusammengetroffene Thiere neben einander hier finden, namentlich Formen, wie die Figur 26, die sogen. Orthoceratiten, die sonst nur in Paläozoischen Formationen

zu Hause sind, mit Ammoniten, die außer den Alpen nur in den jüngeren Formationen des Jura und der Kreide eingeschlossen sind. Gerade dieser Umstand war es, welcher die richtige Deutung dieser alpinen Schichten als Trias so spät erst aufkommen ließ.

Zwischen der Trias und der nächstfolgenden Juraformation findet sich in wie außer den Alpen eine 50 bis 100 Fuß dicke Reihe von Schichten, die als Kössener Schichten oder Rhätische Gruppe bald dem Keuper, bald dem Jura zugerechnet werden, und besonders durch eine Muschel, die Avicula contorta, ausgezeichnet sind, nach welcher sie auch nicht selten benannt werden.

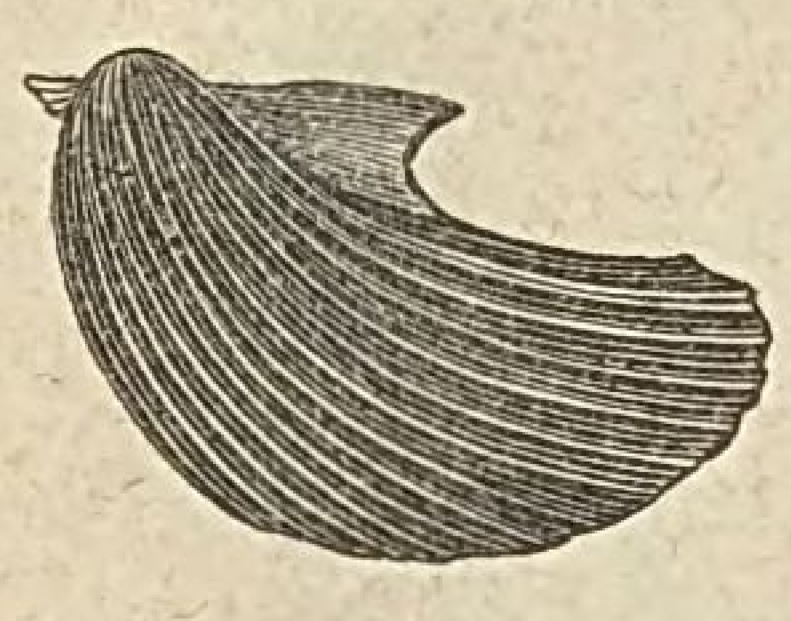


Fig 63. Avicula contorta aus der Rhätischen Stufe von Oberbayern.

Die Juraformation zeigt sich sowohl auf der Nordseite, wie auf der Südseite der Alpen. Aber auch hier finden wir noch einen wesentlichen Unterschied zwischen Ost- und Westalpen, indem die Art der Ausbildung westlich einer vom Bodensee zum Lago Maggiore gezogenen Linie ganz anders ist, als östlich derselben. Die in Schwaben und Franken so natürliche und so leicht zu treffende Scheidung in einen untern Jura (Lias), einen mittleren und oberen ist in den Alpen wiederum schwierig durchzuführen, selbst über die Eintheilung der verschiedenen Schichtenreihen des alpinen Jura, einer unteren und einer oberen Abtheilung, ist noch keine vollständige Uebereinstimmung erzielt. Es sind vorzugsweise rothe Kalke (Marmor), welche sowohl im unteren, als im oberen Jura der Alpen auftreten. Dem unteren gehören die sog. Adnether Kalke nnd Hierlatzschichten an, ebenso die sog. Fleckenmergel, Mergel, die von Algenüberresten herrührende fleckige Zeichnungen erkennen lassen. Der obere ist ausgezeichnet durch ebenfalls rothe Kalke, stark kieselige Kalksteine, die sich zu Wetzsteinen (Am-

mergau) eignen und als sehr charakteristische Reste die sog. Aptychen, einem doppelten Schilde ähnliche kalkige Gebilde, enthalten, über deren Natur noch immer nichts sicheres auszusagen ist, obwohl dieselben häufig wie in Figur 64 in der Wohnkammer eines Ammoniten angetroffen werden.

Auf die Juraformation folgt in schmaleren Streifen auf der Karte erscheinend die im ganzen Alpengebiete überall ziemlich gleich ausgebildete Kreideformation, vorzugsweise aus mächtigen Kalkmassen bestehend, die nach den charakteristischsten Versteinerungen als Spatangenkalk, von einem Seeigel dieses Namens in den unteren Lagen, dann als Kaprotinenkalk oder Schrattenkalk in der Mitte, so genannt nach der eigenthümlich gestalteten Muschel Caprotina ammonia (Fig. 65) und als Hippuritenkalk in der oberen Abtheilung bezeichnet worden sind.

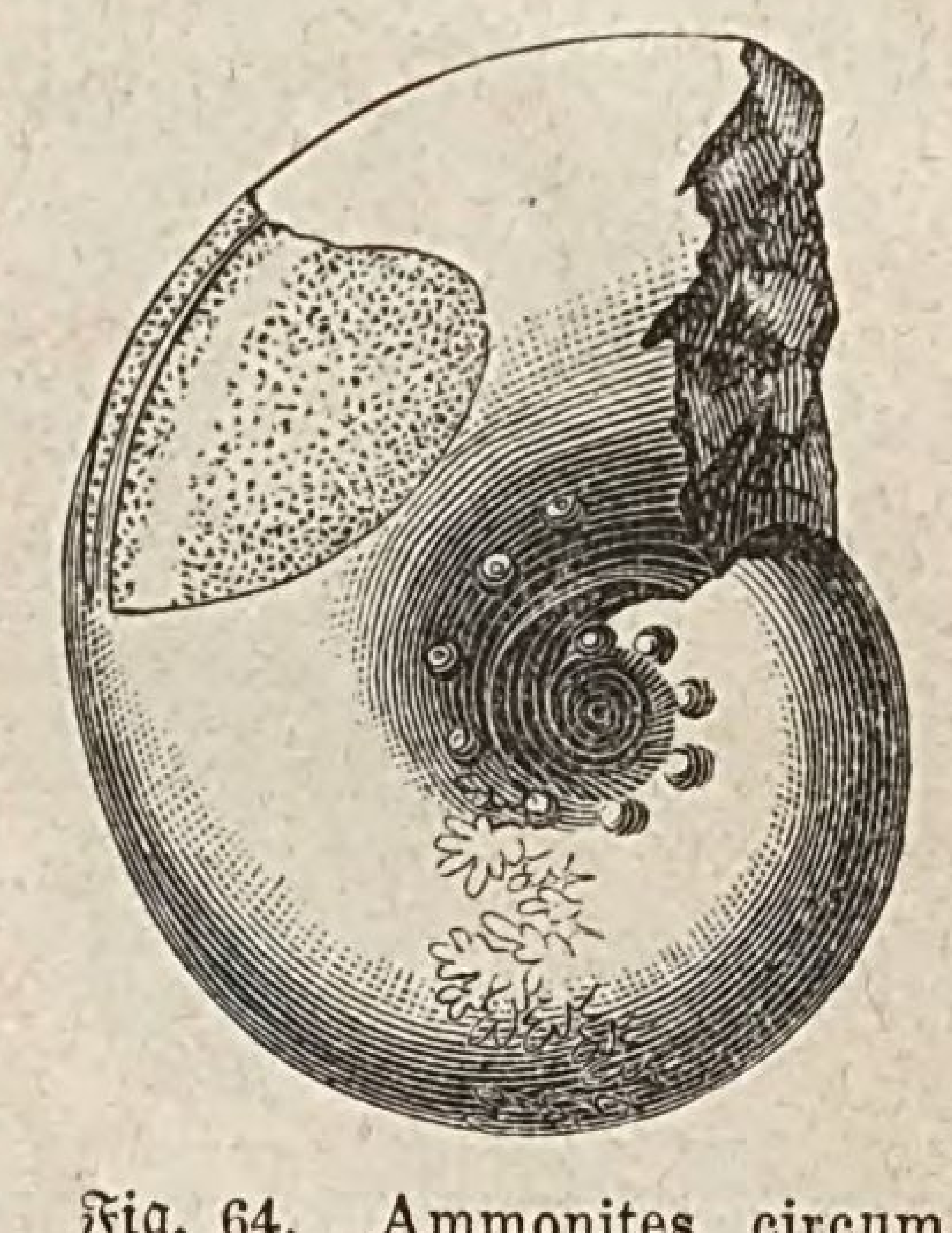


Fig. 64. Ammonites circum spinosus mit Aptychus aus dem weißen Jura.

Vom Volke als versteinerte Kuhhörner bezeichnet, finden sie sich stellenweise in ungeheuerer Menge, so am Untersberge, wie sie Fig. 66 zeigt.

Auch grünliche Sandsteine („Grünsandstein", ein Glied der unteren Kreide) und Mergel treten dazwischen auf, während die eigentliche schreibende Kreide vollständig fehlt.

Die Tertiärformation zeigt sich in den Alpen ebenfalls sehr eigenthümlich und gleichmäßig entwickelt. Zwei mächtige Schichtensysteme ver-

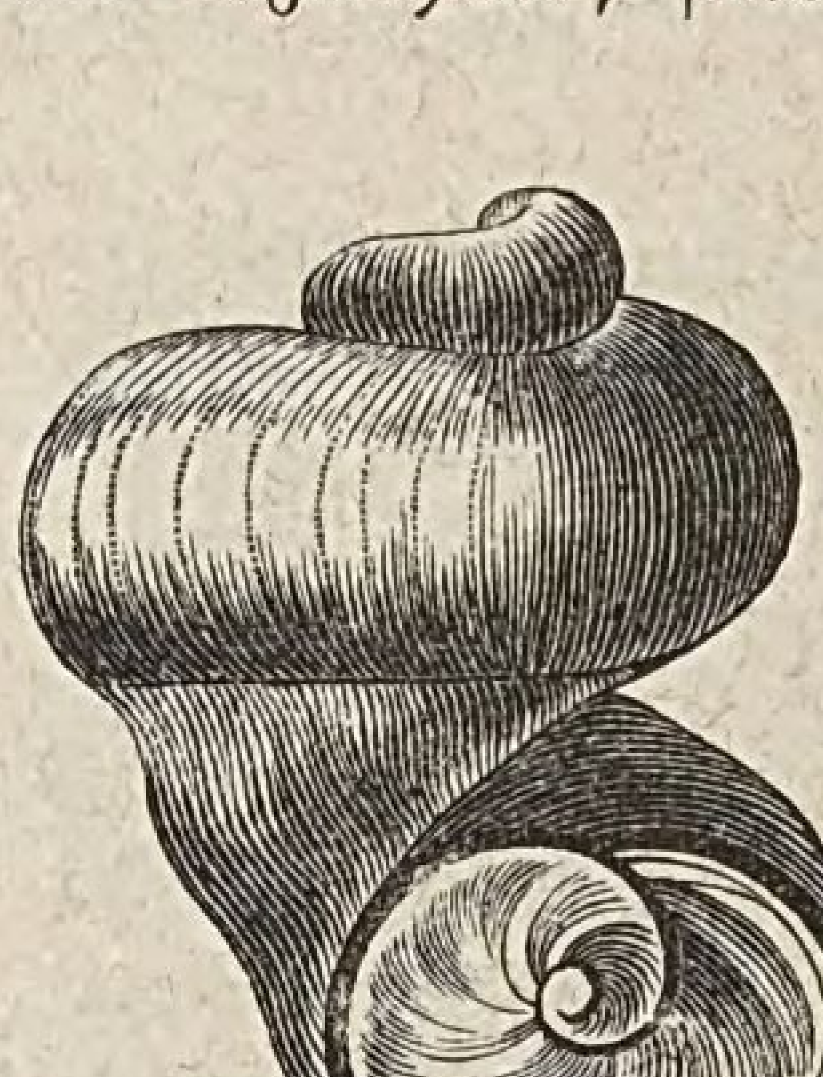


Fig. 65. Caprotina ammonia aus dem Schrattenkalk von Orgon bei Marseille.

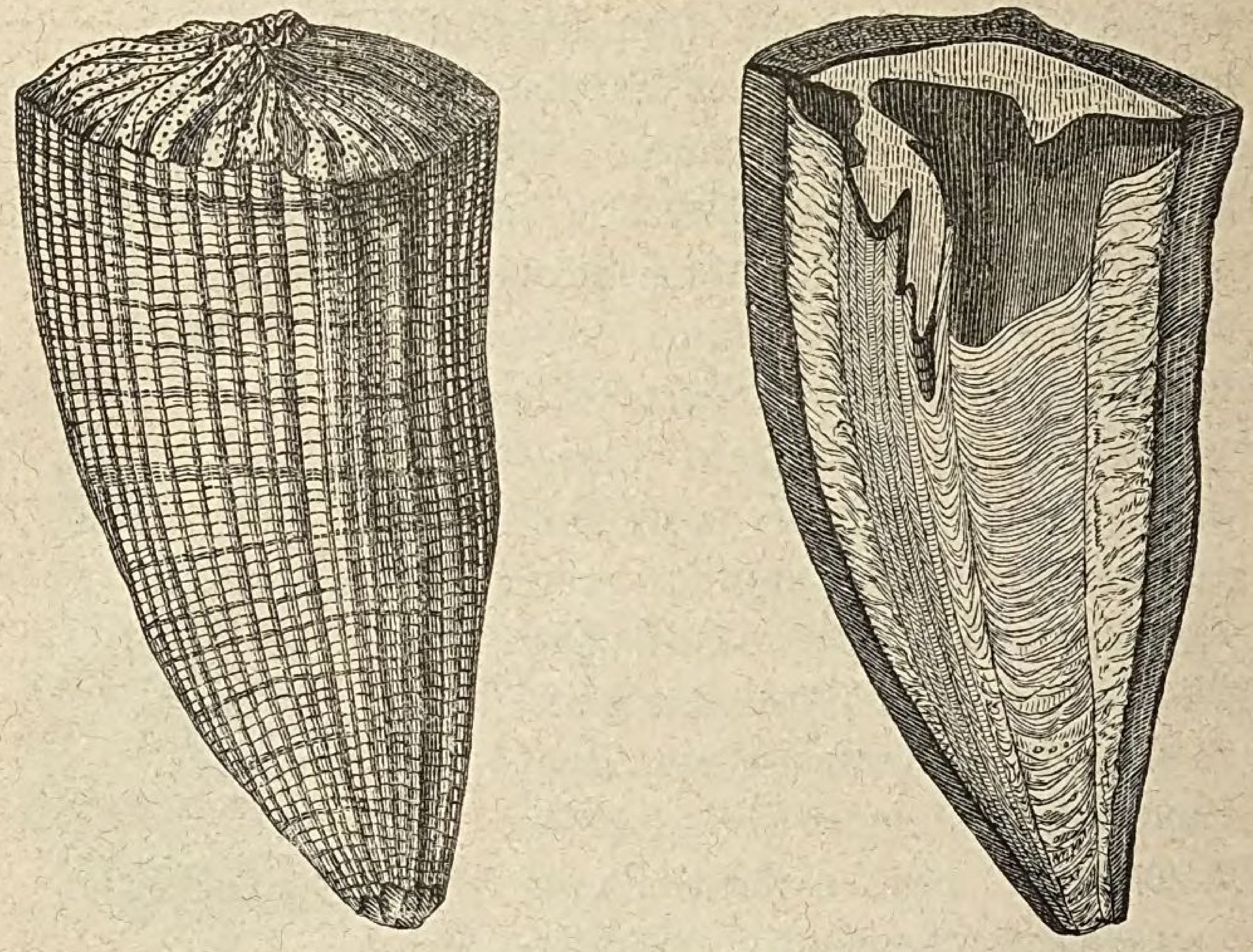


Fig. 66. Hippurites cornu-vaccinum aus dem Gosauthal in Ober-Oesterreich. a. Von außen. b. Durchschnitt desselben Exemplars, um den Schloßapparat zu zeigen.

schiedener Beschaffenheit eröffnen dieselbe. Zunächst eine Reihe wohlgeschichteter Kalkbänke mit eigenthümlichen Foraminiferen, den Nummuliten, niedrigen den Korallen ähnlich kolonienweise lebenden Thierchen, deren Gehäuse seit den Zeiten

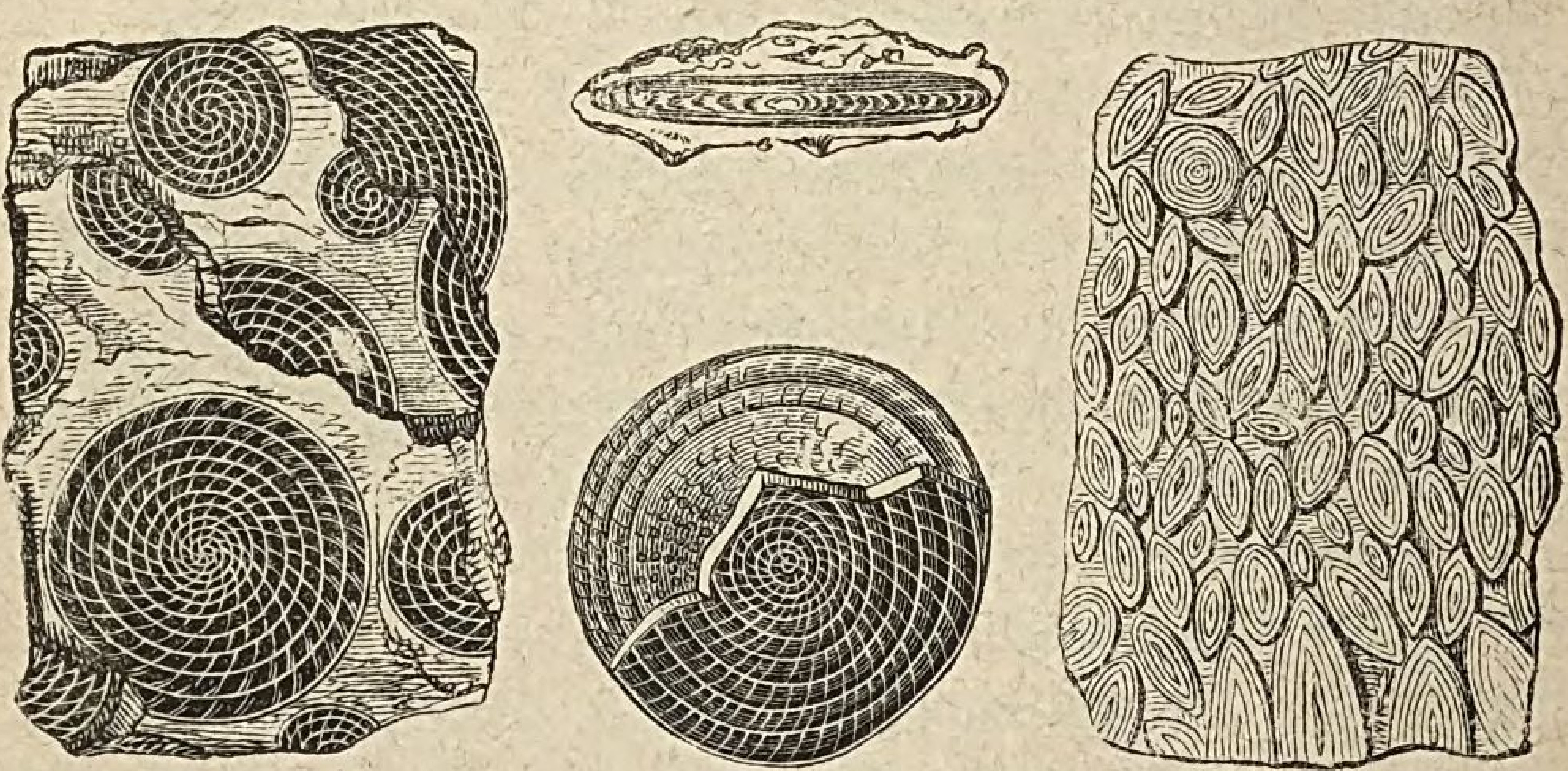


Fig. 67. Verschiedene Nummuliten in natürlicher Größe.

Herodots bekannt (die Bausteine der Pyramiden bestehen größtentheils aus diesem Nummulitenkalke), wegen der Aehnlichkeit mit Münzen dieser Art von Versteinerungen ihren Namen verschafft haben. Neben diesen Nummulitenkalksteinen findet sich eine ebenso mächtige Reihe theils sandiger, theils schiefriger, aber auch kalkiger Gesteine, die besonders reich an Fucusarten sich zeigen, daher Fukoidenschiefer genannt werden. Sie werden nach einer Schweizer Lokalbezeichnung als Flyschbildung zusammengefaßt.

Beide Reihen zeigen sich mit erstaunenswerther Gleichmäßigkeit durch die ganzen Alpen, ja sie umfassen das ganze Mittelmeer; überall finden wir dieselben Gesteine mit den kleinen münzen- und linsenförmigen Schalen von der Meerenge von Gibraltar an bis nach Kleinasien und zurück nach Marocco, ja im Osten breiten sie sich über Persien hin und bis nach China aus.

Mit dieser eocenen Abtheilung der Tärtiärformation haben die sedimentären Bildungen des Hochgebirges ihren Abschluß erreicht, die jüngeren Tertiärbildungen finden sich am Fuße desselben und gehen nur hie und da in den Vorbergen, z. B. am Rigi, noch einige tausend Fuß hoch hinauf.

Dem Mitteltertiär gehören die ebenfalls noch sehr mächtigen unter dem gemeinschaftlichen Namen Molassebildung zusammengefaßten, größtentheils aus Konglomeraten, Sandsteinen, Mergeln und Kalk bestehenden Schichtenreihen an, welche ebenfalls im Norden und Süden der Alpen am ganzen Rande derselben sich verfolgen lassen. In ihnen zeigt sich ein außerordentlich großer Reichthum von Pflanzen und Thieren eingeschlossen, vor Allem ist es die Gegend von Oeningen, welche die größte Menge von organischen Wesen in dünngeschichteten Kalkplatten enthält, die uns zeigen, daß damals in jenen Gegenden ein subtropisches Klima herrschte, ähnlich dem der südlichen vereinigten Staaten in der Gegenwart.

Auf diese Zeit folgte nun eine Periode, in welcher die Gletscher, eine bis dahin, soweit wir die Erde kennen, in allen Ländern unbekannte Erscheinung, in ungeheuerer Ausdehnung nicht nur die Alpen, sondern auch die niedrigeren Gebirge Schottlands, Englands, Nordamerikas u. a. bedeckten und ihre Moränen bis weit hinaus in die Ebenen schoben. Die sog. Findlingsblöcke oder Wanderblöcke sind es, welche uns die Anwesenheit der Gletscher mit Sicherheit erkennen lassen, wenn sie nämlich in Gestalt von Moränen auftreten. Wo sie aber unregelmäßig zerstreut sich finden, da ist es unsicher, ob ihr Transport durch Gletscher oder durch schwimmende Eisberge vermittelt wurde. Häufiger in der ebenen Schweiz, wo sie offenbar aus dem obern Rhonethal, dem Reußthal, Limmatthal, Glarner- und Rheinthal hervorgekommen sind, findet man sie seltener in der bayerischen Hochebene; nach Gümbel „beschränkt sich ihre Verbreitung stets auf das Gebiet vor und zwischen großen Querspalten des Hochgebirges, und zwar lagern die Wanderblöcke zunächst am Alpenrande zur Seite solcher Spaltenthäler in ziemlich unregelmäßiger Zerstreuung, weiter vom Alpenrande entfernt in regelmäßig reihenförmigen N. S.-Zügen".

Gümbel glaubt daraus schließen zu dürfen, daß Eistrümmer von den Flüssen fortgeführt diese Blöcke in der Art vertheilt haben, ein Schluß, der gewiß vollständig gerechtfertigt erscheint.

Wir können unmöglich auf die mannigfachen Einzelheiten eingehen und die verschiedenen Phasen der Eiszeit, so interessant dieselben sind, weiter verfolgen, um so weniger, als ohne ganz genaue Schilderung einzelner Lokalitäten dieselben nicht sich darstellen lassen. Nur eine Frage, die mit der Eiszeit in nächster Verbindung steht, wollen wir zum Schlusse noch kurz erörtern, nämlich die, inwieweit die gegenwärtigen Gestaltungsverhältnisse des Bodens mit der Thätigkeit der Gletscher in Verbindung gebracht werden können.

Die jetzige Gestaltung des Gebirges.

Werfen wir noch einmal einen Blick auf die Vertheilung der sedimentären Gebilde der Alpen, so können wir daraus entnehmen, wie bis in die Tertiärzeit hinein das Mittelmeer weit herein sowohl durch das jetzige Rhonethal herauf, als auch vom adriatischen Meere her in das Alpengebirge eindrang, das bis zum Beginn der Molassenperiode nur eine schmale Insel darstellte. Während der letzteren schon größer geworden, wurde sie nach der Molassezeit zu der bedeutenden Höhe gehoben, in welcher wir sie jetzt erblicken. Wie gewaltig diese Hebungen waren, lehrt uns die Thatsache, daß auf dem Dent du Midi tertiäre Muschelbänke, ehemaliger Meeresgrund bis zu 10940 Fuß über den jetzigen Meeresspiegel emporstiegen. An verschiedenen Stellen war der Betrag dieser Hebung ein sehr verschiedener, es scheinen nach den Lagerungsverhältnissen der sedimentären jüngeren Bildungen zu schließen, eine größere Anzahl von Hebungscentren vorhanden gewesen zu sein. Da die Erdrinde weder aus sehr dehnbaren, noch aus merklich plastischen Massen besteht, so mußte die nothwendige Folge solcher ungleichen Bewegungen eine große Zahl von Knickungen und Zerreißungen sein, die auch in der That überall in den Alpen sich deutlich, selbst dem ungeübten Auge erkenntlich machen, wie wir dies S. 262 näher erörterten. Dadurch waren Erhöhungen und Vertiefungen, Spalten und Mulden, schroffe Zacken und wellenförmige Höhen geschaffen, die dem atmosphärischen Wasser im Großen den Lauf vorschrieben und es nach bestimmten Richtungen hinwiesen, auf welchen es dann seinen Weg immer schärfer und gleichmäßiger einzeichnete. Die Zerstörung und Zertrümmerung aller Vorsprünge des Felsgebäudes geht dadurch immer weiter vorwärts.

Wie für das Wasser, so war auch für die Gletscher die Bedingung ihres Entstehens und der Weg zur Tiefe durch

dieselben Bewegungen vorgezeichnet. Nicht die Firnmassen haben die großen Firnmulden ausgehöhlt, sondern die großen kesselförmigen Biegungen zwischen den gehobenen Massen, die wohl hie und da auch durch Senkungen sich noch mehr vertieft haben mögen, boten die Möglichkeit dar, daß sich die gewaltigen Schneemassen anhäuften, welche die unerläßliche Bedingung der Gletscherbildung sind.

Man hat in der neueren Zeit vielfach die Bildung der Thäler der Wirkung der Gletscher zugeschrieben, die nach dieser Theorie wie große Hobel das Thal aushöhlen sollen, durch welches sie sich bewegen. Ramsay und Tyndall vertreten diese Ansicht auf das lebhafteste, während andere, wie Rütimeyer und Sonklar, sie ebenso energisch bekämpfen, der erstere sogar die Gletscher als ein „eminent konservatives Element" bezeichnet. „Mit der Vergletscherung wird Thalbildung stille gestellt; sie geht nur außerhalb und überhalb der Eisdecke vor sich."

Tyndall sucht die Möglichkeit der Thalbildung durch Gletscher a priori zu erweisen. „Nehmen wir an, ein Gletscher sei 1000 F. tief (und mehrere der älteren hatten wahrscheinlich die 3fache Tiefe) und geben wir 40 Fuß Eis auf den Druck einer Atmosphäre, so finden wir, daß auf jeden Q. Zoll seines Bettes der Gletscher mit einem Gewichte von 375 Pfund drückt. Durch einen vertikalen Druck von dieser Größe wird der Gletscher thalabwärts von hinten gestoßen. Wir können wohl kaum einem solchen Werkzeuge die Kraft zur Aushöhlung streitig machen".

Die Möglichkeit einer Aushöhlung der Thäler durch die Gletscher müssen wir angesichts der Thatsachen, die wir S. 203 erörtert haben, zugeben. Mit dieser ist aber noch lange nicht der Beweis geliefert, daß auch wirklich die Thäler durch Gletscher erzeugt worden seien, wir müssen hier die Erscheinungen in jedem einzelnen Fall etwas näher be-

trachten, weil ja ebenso sicher auch die aushöhlende Wirkung des Wassers ist, und es entsteht daher die Frage, die gar nicht allgemein beantwortet werden kann, sondern für jeden einzelnen Fall einer genauen Untersuchung bedarf, ist dieses bestimmte Thal wohl von einem Gletscher ausgehöhlt worden oder vom Wasser, oder ist es eine Spaltenbildung oder eine Einbiegung der Erdrinde gewesen.

Was jedoch die Theorie von der Aushöhlung der Thäler durch die Gletscher nicht sehr wahrscheinlich macht, sind 2 Voraussetzungen, zu denen sie mit Nothwendigkeit führt, und eine durch Beobachtung ermittelte Thatsache.

Die beiden Voraussetzungen sind folgende: 1. Muß man die Zeit ungeheuer lang annehmen, seit welcher die Gletscher wirkten. Bedenken wir nämlich, wie äußerst langsam die Gletscher sich vorwärts bewegen, so muß man eben ihre Wirkung schon ungemein lang annehmen, um den Erfolg derselben begreiflich zu finden. Wenn wir nun finden, daß erst nach der Molassebildung die Gletscher entstanden und am Ende der Tertiärzeit sich bereits auf ihre jetzige Beschränkung zurückzogen, so muß man annehmen, daß innerhalb dieser im geologischen Sinne gewiß sehr kurzen Periode das ganze Rhonethal, Aarthal u. a. durch sie ausgehöhlt worden sei. Wir werden gleich sehen, daß andere Thatsachen es unmöglich machen, diesen Zeitraum sehr viele Jahrhunderte umfassend anzunehmen.

Die zweite Voraussetzung ist die, daß sich der Gletscher auch überall auf seinem Grunde bewege, was nicht erweislich ist.

Nun gibt es auch eine Reihe von Thatsachen, welche schwer mit dieser Theorie zu vereinigen sind. Betrachten wir nämlich eines der Gletscherthäler in seinem hinteren Ende, so finden wir auf dem Querschnitte folgende Figur 68. G stellt den jetzigen Gletscher dar, a, b, c Reste der alten Rand-

moränen, aus denen der frühere Stand des Gletschers hervorgeht. Wer das Thal vom Gletscher ausgehobelt annimmt, muß auch annehmen, daß dasselbe früher einmal seinen Grund in c e' hatte.

Wie kommt es nun, fragt gewiß Jeder, daß der Hobel, der damals die Form a c—e' a' hatte, nicht das Thal so breit als er war, d. h. in der Breite f f, also in der Form c f—f' e' aushobelte? Eine Verschmälerung des Gletschers nach unten, die nicht durch die vorher schon vorhandene Form des Thales bedingt wäre, ist schlechterdings unbegreiflich.

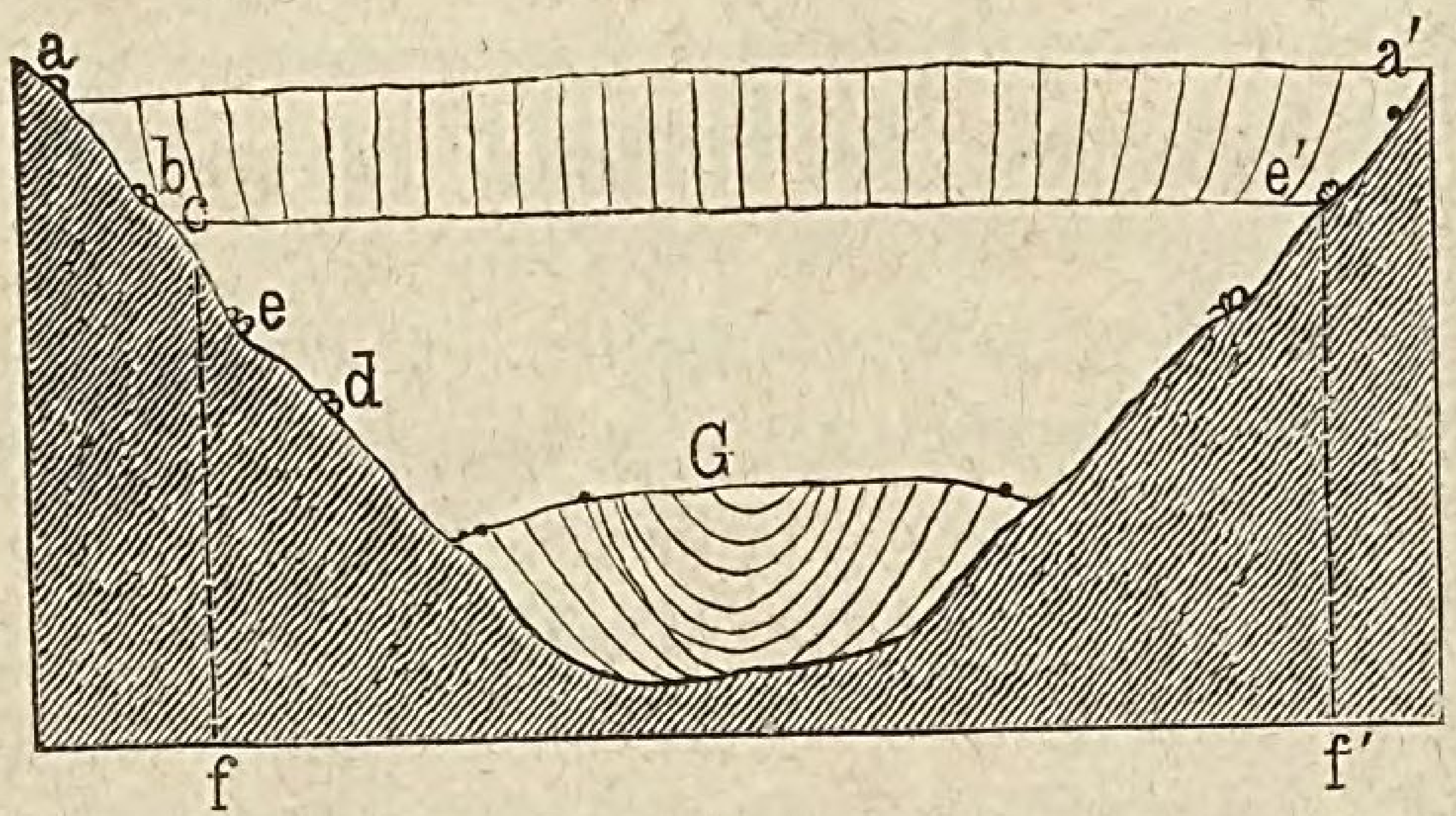


Fig. 68.

Eine weitere Thatsache, welche gegen diese großartige Thätigkeit der Gletscher spricht, ist die, daß weit ober und weit vor den jetzigen Gletschern nicht nur die Spuren ihrer groben, sondern auch ihrer feinen Arbeit unversehrt erhalten sind. Wenn nun bei a in unserer Figur 1000 F. ober dem jetzigen Gletscher, wenn im Aarthal mehrere Stunden von seinem jetzigen Ende entfernt, die Politur der Felsen, die feinen Ritzen in denselben noch wohl erkenntlich sind, so geht daraus mit Sicherheit hervor, das der Zeitraum, welcher seit der Anwesenheit des Gletschers an diesen Stellen verfloß, kein sehr großer ist und nicht zur Aushöhlung eines Thales von mehr als 1000 F. Tiefe durch den Gletscher hinreichte.

Nach den allerdings noch spärlichen Versuchen über die Einwirkung des Regen und Schnee auf die Gesteine dürfte kaum eine Zahl von 10000 Jahren für diesen Zeitraum angenommen werden. Länger würden diese feinen Gletscherspuren unmöglich sich erhalten haben.

Welche ungeheuer rasche Wirkung müßte man dem Gletscherhobel zuschreiben, um ein so tiefes Thal auszuhöhlen, da doch in derselben Zeit das Wetter nicht einmal die feinen Ritzen 1000 F. über dem jetzigen Gletscher verwischt hat?

Fassen wir das Alles ins Auge, so erscheint die Annahme einer Bildung der Thäler durch die Thätigkeit der Gletscher gewiß wenig annehmbar und wir werden als die hauptsächlichsten Faktoren der jetzigen Bodengestaltung der Alpen die Bewegungen der Erdrinde einerseits und die dadurch erzeugten Unebenheiten mit ihren Folgen für den Lauf des Wassers andrerseits anerkennen müssen. Wie diese beiden zusammenwirkten, dem nachzuspüren, ist eine Aufgabe, welche für jeden einzelnen Fall ihre besondern Schwierigkeiten, aber auch ihre besondern Reize hat, wie die meisten Erscheinungen in dem Alpengebirge.

Dem Naturforscher von Fach, wie auch dem Laien wird es nie an Unerforschtem und Anziehendem in demselben fehlen, möchten die vorangegangenen Blätter dazu beitragen die wunderbare Natur des schönsten aller Gebirge klarer zu machen und Jedem, der auch nur eine flüchtige Bekanntschaft damit gemacht, dasselbe näher zu bringen und heimischer zu machen.

Pfaff, Friedrich,

Die Naturkräfte in den Alpen oder physikalische Geographie des Alpengebirges mit 68 Holzschnitten

München 1877